



ESPECIALIDAD: TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS

PROYECTO FINAL DE CARRERA

**Estudio de una instalación solar para
ACS, calefacción y climatización en un
edificio de viviendas en Albacete.**

FRANCISCO DE BORJA GONZÁLEZ RICO

TUTOR: PEDRO ACISCLO RODRÍGUEZ AUMENTE



MEMORIA

Ingeniería Industrial Superior
Especialidad Tecnologías Energéticas
Francisco de Borja González Rico

Índice.

1. INTRODUCCIÓN	6
1.1. INTRODUCCIÓN AL PROYECTO	7
1.1.1. Energías renovables	7
1.1.2. Energía solar	8
1.2. DATOS GENERALES DEL PROYECTO	10
1.2.1. Descripción del edificio	10
1.2.2. Situación del proyecto	11
1.2.3. Cálculo de la demanda de ACS	16
1.2.4. Uso de calefacción y climatización	19
1.2.5. Consideraciones a tener en cuenta en las instalaciones solares	19
2. CARGAS TÉRMICAS	27
2.1. INTRODUCCIÓN	28
2.2. CÁLCULO DE LAS TRANSMITANCIAS TÉRMICAS	29
2.2.1. Método de verificación	29
2.2.2. Determinación zona climática	29
2.2.3. Valores límite de las transmitancias	30
2.2.4. Clasificación de los espacios	31
2.2.5. Cálculo de las transmitancias	31
2.2.6. Validación de las transmitancias mediante el CTE	36
2.3. CARGAS TÉRMICAS PARA REFRIGERACIÓN	39
2.3.1. Cargas externas	39
2.3.2. Cargas internas	48
2.4. CARGAS TÉRMICAS PARA CALEFACCIÓN	50
2.4.1. Cargas externas	51
2.4.2. Cargas internas	51
3. PÉRDIDAS EN EL COLECTOR	53
3.1. INTRODUCCIÓN	54
3.2. MODELIZACIÓN DE COLECTORES EN RÉGIMEN TRANSITORIO	55
3.3. ESQUEMA DE RESISTENCIAS TÉRMICAS	56
3.3.1. Radiación entrante	57
3.3.2. Temperatura de la placa	57
3.3.3. Rama calor útil	57
3.3.4. Rama de pérdidas de la parte inferior del colector	60
3.3.5. Rama de pérdidas de la parte superior del colector	62
3.4. MÉTODO DE CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DEL COLECTOR	67
3.5. SISTEMAS DE ECUACIONES E INCÓGNITAS	67
3.5.1. Incógnitas	68
3.5.2. Ecuaciones	68
3.6. UTILIZACIÓN PÉRDIDAS	70
4. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN	71
4.1. INTRODUCCIÓN	72
4.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE UNA INSTALACIÓN SOLAR	73
4.2.1. Sistemas y circuitos de una instalación	73
4.2.2. Criterios funcionales	74
4.3. DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN SOLAR	77
4.3.1. Captador solar	77
4.3.2. Fluido caloportador	80
4.3.3. Intercambiador de calor	81
4.3.4. Acumulador	82
4.3.5. Bomba de circulación	83
4.3.6. Vaso de expansión	84

4.3.7. Elementos de montaje y sujeción	84
4.3.8. Tuberías y aislamientos	84
4.3.9. Otros elementos de la instalación	85
4.3.10. Otros elementos externos de la instalación	86
5. INSTALACIÓN ACS	91
5.1. INTRODUCCIÓN	92
5.2. ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN	93
5.3. DATOS INICIALES	94
5.4. PARÁMETROS VARIABLES	94
5.5. INCÓGNITAS	95
5.6. ECUACIONES	96
5.6.1. Balance de energía en los colectores	96
5.6.2. Balance de energía en el intercambiador de calor	97
5.6.3. Contribución solar mínima	98
5.6.4. Tanque de acumulación	99
5.6.5. Resumen de ecuaciones	102
5.7. ANÁLISIS DE RESULTADOS	103
5.7.1. Caso medio anual	103
5.7.2. Caso medio mensual	104
5.7.3. Resultados mensuales	105
5.7.4. Contribución solar mínima	106
5.7.5. Pérdidas en el colector	107
5.7.6. Rendimiento	108
5.8. CONSIDERACIONES FINALES	109
6. INSTALACIÓN DE ACS, CALEFACCIÓN Y CLIMATIZACIÓN	110
6.1. INTRODUCCIÓN	111
6.2. ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN	112
6.3. DATOS INICIALES	113
6.4. PARÁMETROS VARIABLES	114
6.5. INCÓGNITAS	114
6.6. ECUACIONES	115
6.7. CONSIDERACIONES DE INTERÉS	118
6.8. RESULTADOS MENSUALES	120
6.8.1. Resultados calefacción	120
6.8.2. Resultados climatización	121
6.9. ANÁLISIS DE RESULTADOS	121
6.9.1. Contribución solar mínima de ACS	121
6.9.2. Climatización	122
6.9.3. Pérdidas en el colector	122
6.9.4. Rendimiento	123
6.10. CONSIDERACIONES FINALES	124
7. DIMENSIONALIZACIÓN DE ELEMENTOS	125
7.1. INTRODUCCIÓN	126
7.2. CIRCUITO PRIMARIO	126
7.2.1. Colectores solares	126
7.2.2. Fluido caloportador	127
7.2.3. Tuberías	127
7.2.4. Aislante	127
7.2.5. Intercambiador de calor del circuito primario	128
7.2.6. Bomba de circulación del primario	129
7.2.7. Vaso de expansión	133
7.3. CIRCUITO SECUNDARIO	134
7.3.1. Tanque de almacenamiento	134
7.3.2. Bomba de circulación del circuito secundario	135
7.3.3. Vaso de expansión	136

7.4. CIRCUITO Terciario.....	136
7.4.1. Intercambiador de calor del circuito de ACS	136
7.4.2. Tanque de almacenamiento para ACS	136
7.4.3. Caldera auxiliar	140
7.4.4. Máquina de absorción	141
7.4.5. Máquina de compresión mecánica	141
7.4.6. Suelo radiante.....	142
7.4.7. Sistemas de regulación, control y monitorización.....	142
7.4.8. Bombas en el circuito terciario.....	143
8. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL.....	144
8.1. INTRODUCCIÓN	145
8.2. EFECTO INVERNADERO	146
8.2.1. El Protocolo de Kioto.....	147
8.3. PRINCIPALES CONTAMINANTES	147
8.3.1. Primarios	147
8.3.2. Secundarios	148
8.3.3. Comportamiento híbrido	148
8.4. PRINCIPALES EFECTOS DE LOS CONTAMINANTES	148
8.5. AHORRO DE EMISIONES	149
8.5.1. Ahorro de emisiones para ACS	149
8.5.2. Ahorro de emisiones para climatización	151
8.5.3. Ahorro de emisiones para calefacción.....	152
8.5.4. Ahorro total de la instalación	153
9. ESTUDIO ECONÓMICO	153
9.1. INTRODUCCIÓN	154
9.2. COSTE DE LA INSTALACIÓN.....	154
9.3. SUBVENCIONES	156
9.4. AHORRO ANUAL DE COMBUSTIBLE.....	159
9.5. AHORRO POR EMISIONES DE CO ₂	160
9.6. MANTENIMIENTO	160
9.7. CONCLUSIÓN ESTUDIO ECONÓMICO	161
10. CONCLUSIÓN	162
BIBLIOGRAFÍA	165
ANEXOS.....	166
ANEXO 1: PLANOS	167
ANEXO 2: PROGRAMAS	173
Mathcad.....	173
Maple.....	201
ANEXO 3: HOJAS DE COMPONENTES.....	214
ANEXO 4: EXCEL ESTUDIO ECONÓMICO.....	237



CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción al proyecto.

El objetivo de este proyecto es el estudio de una instalación solar en un edificio de viviendas situado en Albacete, orientado a la producción de ACS (agua caliente sanitaria) todo el año, climatización mediante máquina de absorción (en los meses de verano) y calefacción mediante suelo radiante (en los meses de invierno).

Para ello vamos a hacer uso de colectores solares planos, que son los más utilizados en edificios de viviendas, ya que alcanzan las temperaturas suficientes para las aplicaciones que vamos a utilizar, sobre todo para suelo radiante. Para la máquina de absorción, por su elevada temperatura necesaria, se podría pensar en otro tipo de colectores, pero realizaremos el estudio del uso de esta tecnología con colectores planos.

El ACS, en nuestro caso que es una instalación de varios usos, se suministra mediante el intercambio de calor entre el agua procedente de un tanque destinado para el ACS, y otro destinado para recibir toda el agua necesaria para las demás aplicaciones. El agua de suministro tiene que encontrarse a una temperatura de 60°C para prevenir la legionella. En los casos en los que no se alcance esta temperatura, tendremos una caldera de apoyo para calentar el agua procedente del tanque de ACS.

Las otras dos aplicaciones, climatización y calefacción, se usan en los meses indicados para cada una, meses de verano y de invierno respectivamente. Son alimentados mediante un tanque solar, que es calentado por un intercambiador de calor por el que pasa el líquido proveniente de los colectores solares. Si no se abastece la demanda con la instalación solar, también se dispone de un equipo auxiliar para ello.

1.1.1. Energías renovables.

Se denomina energía renovable a aquella fuente cuya producción es sostenible indefinidamente (continuidad en el tiempo) sin degradación del medio natural (basada en ciclos naturales). La única fuente absolutamente renovable de la Tierra es la radiación solar, si ignoramos, por insignificantes, la gravitatoria y la química aisladas, ya que las demás dependen de ésta. La energía biológica es renovable hasta la capacidad de renovación anual de la naturaleza.

Los tipos de energías renovables que son utilizables por el ser humano son las siguientes: la energía solar directa, la energía eólica, la energía geotérmica, la energía hidráulica, la energía mareomotriz y corrientes marinas, la energía de las olas, la energía del gradiente térmico marino y la energía procedente de la biomasa.

Las características de las energías renovables son las siguientes:

- Sostenibilidad, pues pueden ser utilizadas indefinidamente sin agotamiento.
- Escasa densidad espacial, lo que aumenta los costes de captación y concentración.

- Baja disponibilidad, al estar sometida a variaciones naturales (día-noche, verano-invierno). El almacenamiento no está generalmente resuelto favorablemente, salvo el bombeo y turbinado de agua en una central hidráulica reversible.
- Elevado coste, debido a la amortización de equipos y mantenimiento.
- A menudo alejadas del consumo, si bien están disponibles en muchos lugares de la tierra.
- Muy bajo, aunque posible, impacto ambiental; por ejemplo, la hidráulica produce alteraciones en el curso de los ríos y provoca anegamiento de riberas. El impacto ambiental es visual en el caso de la solar y eólica.
- Socialmente positiva, al generar más puestos de trabajo que otras fuentes de energía.
- Ahorra divisas, al sustituir importantes importaciones de combustibles fósiles y de tecnología.
- Disminuye la dependencia energética del exterior del país.

En este proyecto, vamos a utilizar la energía solar, mediante el uso de colectores solares planos, para transformar la radiación proveniente del sol en energía térmica, para calentar un fluido que calentará a su vez agua y que usaremos para diversos propósitos.

1.1.2. Energía solar

La energía solar captada por el planeta es mucho mayor que el consumo total de la humanidad, 3 órdenes de magnitud. Por eso es una fuente de energía muy importante, aunque su aprovechamiento es difícil por la dispersión y variabilidad.

Sus usos más habituales son los siguientes:

- **Para la generación térmica:** calefacción, desecación y refrigeración.
 - Activa:
 - De baja temperatura (colectores planos, los usados en el proyecto) para agua caliente sanitaria (ACS), hasta 60°C.
 - De media temperatura (colectores planos especiales, tubos de vacío o concentradores) para calefacción hasta 90°C y para producir vapor o frío, hasta 160°C.
 - De alta temperatura (concentradores) para aplicaciones industriales, hasta 1.000°C.

- Pasiva:

Trata de contribuir a la climatización, recibiendo el nombre de Arquitectura Bioclimática. Trata de captar la radiación solar en invierno y rechazarla en verano.

- **Para la generación de trabajo (electricidad):**

- Térmica:

- Parque de heliostatos que concentran la radiación al enfocarla en un receptor situado en una torre. El heliostato necesita dos movimientos para seguir al sol.
- Concentrador cilíndrico-parabólico de eje horizontal que concentra el sol en un tubo en el que se produce vapor.

- Fotovoltaica, bajo rendimiento ($\sim 10\%$) y elevado coste, 5 a 10 veces un colector solar plano.

- **Para la generación de frío:** las máquinas de absorción convierten un flujo de calor en uno de magnitud mayor a menor temperatura, ligeramente superior a la del ambiente que es a donde se vierte. La diferencia es el calor que se bombea desde la baja temperatura al ambiente. Esto logra acoplar la alta oferta de la energía solar en verano con la alta demanda de frío.

En este proyecto vamos a usar los colectores solares planos de baja temperatura, ya que son los más indicados para ACS; para la calefacción emplearemos el método de suelo radiante, que precisa de temperaturas de 45°C , y para los meses de verano la máquina de absorción, que dependiendo de la elegida, precisará una temperatura u otra. Si no se consigue la temperatura necesaria habrá que hacer uso de una caldera de apoyo.

Estas aplicaciones que vamos a usar los explicaremos más detalladamente en apartados posteriores.

1.2. Datos generales del proyecto

El edificio en el que vamos a efectuar la instalación de placas solares para su utilización en ACS, climatización y calefacción, se encuentra en Albacete.

El edificio está compuesto de dos núcleos, en los cuales encontramos un garaje con trasteros, una planta baja con 4 viviendas, la planta primera con 6 viviendas y la planta bajo cubierta, que está compuesta por trasteros y por la segunda planta de dos viviendas del primer piso.

En los siguientes apartados, haremos una descripción más detallada del edificio, también explicaremos las zonas en las que usaremos los paneles solares para la climatización y calefacción, daremos el consumo de agua caliente del edificio y explicaremos qué consecuencias tiene en el proyecto que éste esté situado en Albacete.

1.2.1. Descripción del edificio.

El edificio que estamos estudiando consta de sótano, planta baja, planta primera y bajo cubierta. A continuación daremos una breve explicación de cada planta y de los usos que tiene cada una.

- **Sótano:**

Dispone de un garaje con una superficie de 257,95 m² con capacidad para 11 plazas, además de una sala para extracciones de aire, zona de contadores, la rampa de entrada al garaje, y una zona de trastero con capacidad para 11 de ellos. En esta zona del edificio es donde estará situada la instalación para ACS, climatización y calefacción. Para conocer su situación exacta habría que hacer un estudio de cuál es su lugar más apropiado.

- **Planta baja:**

Consta del portal, con su escalera correspondiente, la rampa de entrada al sótano, una terraza con zona de tendido y cuatro viviendas de las cuales a continuación daremos sus características.

- Vivienda A: consta de vestíbulo, cocina, salón comedor, 1 baño y 1 dormitorio. Su superficie total es de 41 m².
- Vivienda B: consta de vestíbulo, cocina, salón comedor, 3 dormitorios y dos baños. Su superficie total es 63 m².
- Vivienda C: consta de vestíbulo, salón comedor, cocina, 1 dormitorio y 1 baño. Su superficie total es de 38 m².
- Vivienda D: consta de vestíbulo, salón comedor, cocina, 1 baño y 2 dormitorios. Su superficie total es de 51 m².

- **Planta primera:**

Está compuesta por un distribuidor con una escalera para subir a la planta bajo cubierta y por 6 viviendas de las cuales a continuación daremos sus características:

- Vivienda A: consta de vestíbulo, salón comedor, 1 dormitorio, 1 baño y una zona de escalera para subir al trastero. Su superficie total es de 40 m².
- Vivienda B: consta de vestíbulo, cocina, salón comedor y además, de una zona de escalera para subir a la segunda planta de la vivienda. La superficie total de esta parte de la vivienda es de 28 m².
- Vivienda C: consta de vestíbulo, salón comedor, cocina, 1 baño y dos dormitorios. Su superficie total es de 53 m².
- Vivienda D: consta de salón comedor y cocina, todo junto, y de una zona de escaleras para subir a la segunda planta de la vivienda. La superficie total de esta planta es de 22,27 m².
- Vivienda E: consta de vestíbulo, salón comedor y cocina juntos, 1 baño y 1 dormitorio, además tiene una zona con una escalera para subir al trastero. Su superficie total es de 39,70 m².
- Vivienda F: consta de salón comedor y cocina juntos, 1 baño y 1 dormitorio. Además, dispone de una zona con una escalera para subir al trastero. Su superficie total es de 39,70 m².

- **Planta bajo cubierta:**

Está compuesta por una zona con trasteros, correspondientes a las viviendas A, E y F. Y otra zona correspondiente al segundo piso de las viviendas B y D. A continuación daremos una descripción de las viviendas y los trasteros.

- Trastero A: tiene una superficie de 13,43 m².
- Trastero E: tiene una superficie de 16,12 m².
- Trastero F: tiene una superficie de 19,39 m².
- Vivienda B: consta de distribuidor, 1 baño y 1 dormitorio. Su superficie total es de 30,33 m².
- Vivienda D: consta de distribuidor, 1 baño y 1 dormitorio. Su superficie total es de 31,79 m².

- **Cubierta:**

Es donde irán situados los colectores solares, orientados hacia el sur, que es la orientación óptima. Está compuesta por una zona con tejado a dos aguas y otra con tejado a 3 aguas. Además tiene 16 lucernarios, 9 en la zona a 3 aguas y 7 en la zona a dos aguas.

1.2.2. Situación del proyecto.

En este apartado vamos a ver lo que supone que nuestro edificio esté situado en Albacete. Hay muchos factores que varían de una zona geográfica de España a otra, los factores que vamos a comentar son los siguientes:

- Datos generales de Albacete.
- Zona climática, tanto para el cálculo de las cargas térmicas como para conocer la contribución solar mínima para aplicaciones de agua caliente sanitaria (ACS).
- Radiación: es importante para conocer la cantidad de energía que le llega al colector solar y también para el cálculo de las cargas térmicas.
- Temperatura media del agua en la red.
- Temperatura media en las horas de sol.
- Temperatura máxima y mínima mensual.
- Horas de sol.

1.2.2.1. Datos generales de Albacete.

Albacete es una ciudad española situada al sureste de la Meseta Central; es la capital de la provincia de Albacete, perteneciente a la comunidad autónoma de Castilla-La Mancha, y sede del Tribunal Superior de Justicia de dicha Comunidad Autónoma.

Albacete, con sus 166.909 habitantes (212.599 en el área de atracción metropolitana), según datos del INE de 2008, es la mayor ciudad en número de habitantes de toda Castilla-La Mancha.

Algunos datos a tener en cuenta de la capital, son los siguientes (Fuente: CENSOLAR):

- Altitud: 686 m.
- Latitud: 39° Norte, dato importante ya que suele ser la inclinación óptima de los colectores.
- Longitud: 1,8° W.
- Temperatura mínima histórica: -23°C, es la temperatura más baja registrada en cualquier capital española. Este dato es muy importante porque tenemos que tener en cuenta este dato para saber el porcentaje de anticongelante que debemos introducir en los colectores solares.

1.2.2.2. Zona climática.

La primera zona climática hace referencia al cálculo de la carga térmica, ya que el CTE fija unos valores límite de transmitancia térmica para evitar descompensaciones entre la calidad térmica de diferentes espacios. La zona climática correspondiente a Albacete es la D3.

La segunda hace referencia a la contribución solar mínima que debe tener la instalación para aplicaciones de ACS, en función de la zona climática y del caudal de agua diario tendremos una contribución solar dada.

La zona climática, como vemos en el dibujo, correspondiente a Albacete es la V.

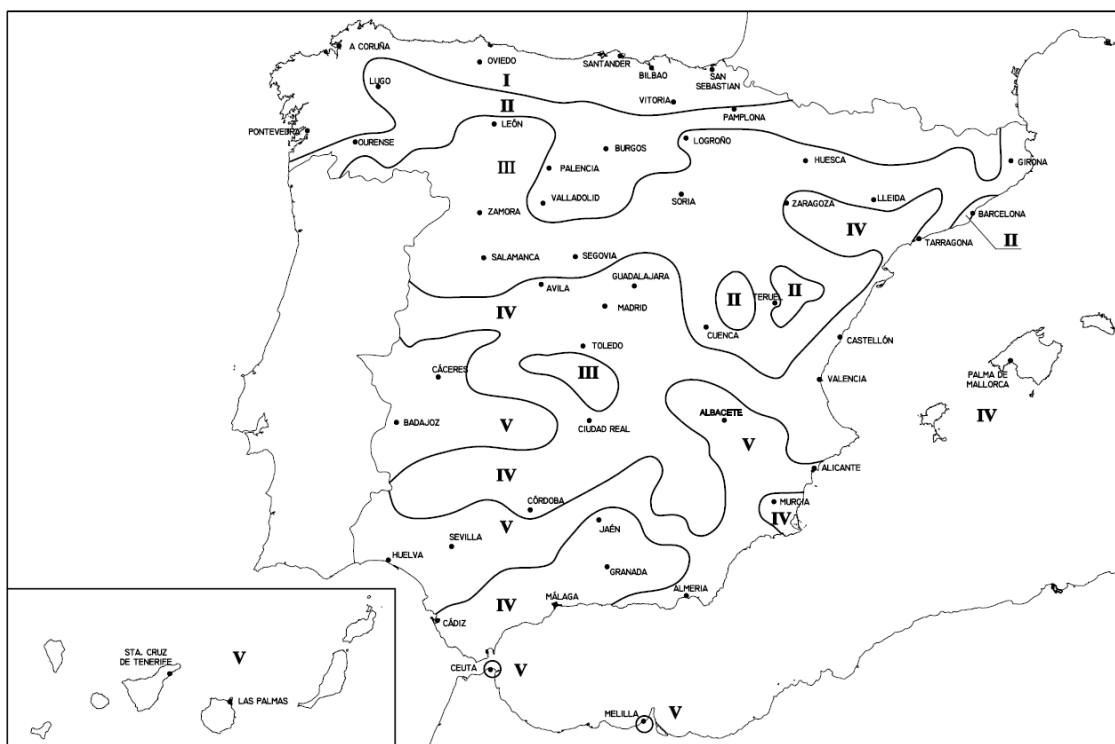


Ilustración 1.1. Mapa zonas climáticas. (Fuente: CTE).

Y para el cálculo del factor solar debemos conocer que el consumo de agua diario del edificio es de 462 l/día, por lo tanto con la siguiente tabla podemos obtener el factor solar.

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50-5.000	30	30	50	60	70
5.000-6.000	30	30	55	65	70
6.000-7.000	30	35	61	70	70
7.000-8.000	30	45	63	70	70
8.000-9.000	30	52	65	70	70
9.000-10.000	30	55	70	70	70
10.000-12.500	30	65	70	70	70
12.500-15.000	30	70	70	70	70
15.000-17.500	35	70	70	70	70
17.500-20.000	45	70	70	70	70
> 20.000	52	70	70	70	70

Tabla 1.1. Tabla fracción solar de ACS. (Fuente: CTE).

Por lo tanto, teniendo en cuenta, que nuestra demanda es de 462 l/día y la zona climática es la V, obtenemos un valor de contribución solar mínima del 70% ($f = 0.7$). La contribución solar mínima anual es la fracción entre los valores anuales de la energía solar aportada exigida y la demanda energética anual, obtenidos a partir de los valores mensuales.

1.2.2.3. Radiación.

En cada ciudad se registran unos valores diferentes de radiación solar. En este apartado vamos a dar la intensidad media útil I, en W/m², sobre la horizontal, en un día medio de cada mes.

En estos valores ya se ha tenido en cuenta el período útil del día en cuanto a la posibilidad de aprovechamiento de la energía solar, es decir, se ha deducido la energía incidente en los primeros y los últimos momentos del día, en que la oblicuidad de los rayos es muy grande y no se aprovecha dicha energía.

Hay que tener en cuenta que estos datos son para una superficie horizontal, por lo que tendremos que modificar por un factor que modifica este valor según la inclinación y la latitud.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
ALBACETE	220	306	434	528	584	690	733	639	545	360	274	221	461.2

Tabla 1.2. Intensidad media útil I, en W/m² (Fuente: CENSOLAR).

1.2.2.4. Temperaturas.

En este apartado vamos a dar todas las temperaturas necesarias que hay que tener en cuenta en el proyecto.

La temperatura media del agua de red nos servirá para el estudio de la instalación de ACS, ya que se introduce agua a esta temperatura directamente en el tanque solar. (Fuente: CENSOLAR).

La temperatura media en las horas de sol nos servirá para obtener las pérdidas en el colector, así como también las posibles pérdidas que pueda haber en las tuberías. (Fuente: Agencia Estatal de Meteorología).

La temperatura máxima y mínima mensual que nos servirá para el cálculo de la carga térmica para cada mes, la temperatura máxima para climatización y la temperatura mínima para calefacción.

	Temperaturas (°C)			
MES	T. agua red	T. horas sol	T máx. mensual	T. mín. mensual
Enero	5	6	10,1	-0,4
Febrero	6	8	12,3	0,8
Marzo	8	11	15,5	2,5
Abril	10	13	17,7	4,5
Mayo	11	17	22,1	8,5
Junio	12	22	27,9	12,7
Julio	13	26	32,5	16,0
Agosto	12	26	31,9	16,1
Septiembre	11	22	26,8	12,9
Octubre	10	16	19,8	7,9
Noviembre	8	11	14,2	3,5
Diciembre	5	7	10,8	1,1
Anual	9,3	15,4	20,1	7,1

Tabla 1.3. Tabla de temperaturas. (Fuente: Agencia Estatal de Meteorología y METEORED).

1.2.2.5. Horas de sol.

El dato que conocemos es el número medio de horas diarias de sol útiles para captadores orientados aproximadamente al ecuador e inclinador con un ángulo igual a la latitud para lugares que estén situados en el hemisferio norte entre las latitudes 25° y 45°. Como Albacete se encuentra en una situación de latitud norte 36°, podemos tomarlos como válidos:

Latitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
De +25° a +45° (Hemisferio Norte)	8	9	9	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9	9	8	7,5

Tabla 1.4. Horas de sol medias al mes. (Fuente: Departamento de Ingeniería Térmica).

1.2.3. Cálculo de la demanda de ACS.

En este apartado calcularemos la demanda diaria de agua caliente sanitaria (ACS) que precisa el edificio. Para el cálculo de dicha demanda tenemos que tener en cuenta el CTE, en él tenemos una tabla que nos indica los litros de ACS por día a 60°C que precisan una serie de instalaciones, dicha tabla la vemos a continuación:

Criterio de demanda	Litros ACS/día a 60° C	
Viviendas unifamiliares	30	por persona
Viviendas multifamiliares	22	por persona
Hospitales y clínicas	55	por cama
Hotel ****	70	por cama
Hotel ***	55	por cama
Hotel/Hostal **	40	por cama
Camping	40	por emplazamiento
Hostal/Pensión *	35	por cama
Residencia (ancianos, estudiantes, etc)	55	por cama
Vestuarios/Duchas colectivas	15	por servicio
Escuelas	3	por alumno
Cuarteles	20	por persona
Fábricas y talleres	15	por persona
Administrativos	3	por persona
Gimnasios	20 a 25	por usuario
Lavanderías	3 a 5	por kilo de ropa
Restaurantes	5 a 10	por comida
Cafeterías	1	por almuerzo

Tabla 1.5. Tabla demanda ACS. (Fuente: CTE).

Como el cálculo de la demanda de ACS que estamos haciendo es en una vivienda multifamiliar, tendremos un valor de 22 litros ACS/día a 60°C y por persona. Luego tendremos que calcular el número de personas que tenemos en nuestro edificio.

Para calcular el número de personas el CTE nos da otra tabla que nos indica el número de persona por dormitorio que hay que tener en cuenta a la hora de calcular la demanda de ACS. Dicha tabla es:

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	7	más de 7
Número de Personas	1,5	3	4	6	7	8	9	Nº de dormitorios

Tabla 1.6. Tabla ocupación viviendas. (Fuente: CTE).

A continuación hacemos el cálculo para el número de personas en el edificio:

- Planta Baja:
 - Vivienda A: 1 dormitorio → 1,5 personas.
 - Vivienda B: 3 dormitorios → 4 personas.
 - Vivienda C: 1 dormitorio → 1,5 personas.
 - Vivienda D: 2 dormitorios → 3 personas.
- Planta primera y bajo cubierta:
 - Vivienda A: 1 dormitorio → 1,5 personas.
 - Vivienda B: 1 dormitorio → 1,5 personas.
 - Vivienda C: 2 dormitorios → 3 personas.
 - Vivienda D: 1 dormitorio → 1,5 personas.
 - Vivienda E: 1 dormitorio → 1,5 personas.
 - Vivienda F: 1 dormitorio → 1,5 personas.

Luego el número de personas que tenemos según el CTE sería de 20,5, redondeando tenemos 21 personas. Multiplicando este número de personas por la demanda de ACS por persona, tenemos la demanda media de ACS diaria:

$$\text{Demanda de ACS} = 462 \text{ litros de ACS/día a } 60^{\circ}\text{C}$$

Pero tenemos que tener en cuenta que este dato es un valor aproximado de la demanda diaria; para aproximarnos un poco más a la realidad, multiplicamos por un factor que corresponde a la variación media del consumo mensual en viviendas, ya que el consumo de ACS varía durante los diferentes meses del año.

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
k_{cons}	1,1	1,08	1,03	1,09	1,04	1,01	0,9	0,79	0,92	0,94	1,02	1,075

Tabla 1.7. Tabla demanda mensual ACS. (Fuente: DTIE 1.01)

A continuación mostramos un gráfico que nos muestra cómo varía el consumo de ACS en nuestro edificio en los distintos meses:

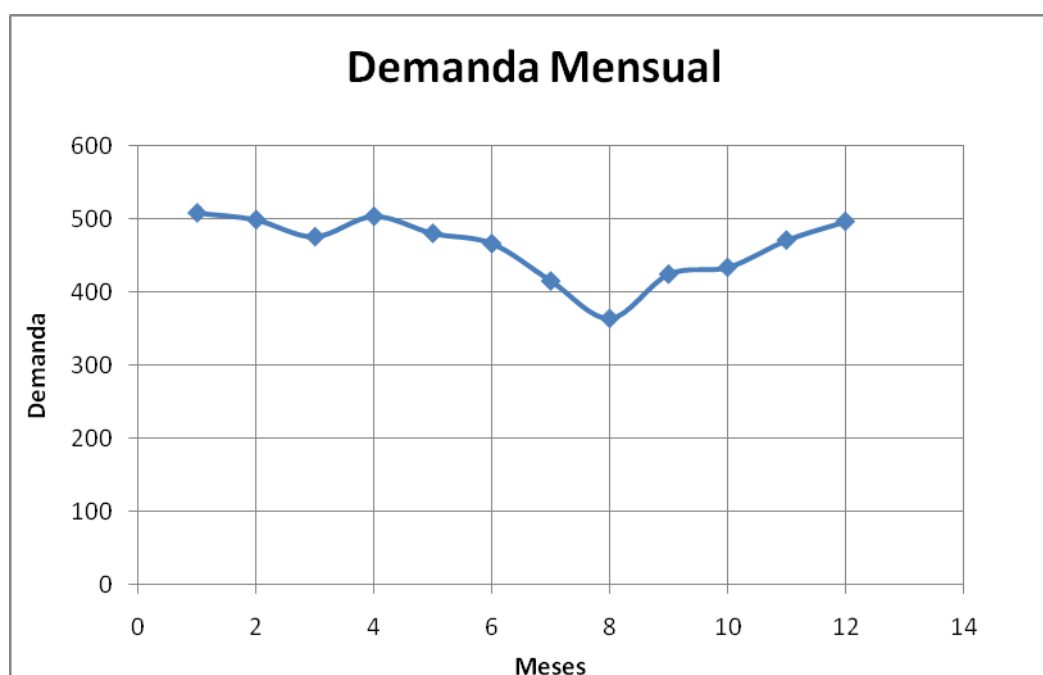


Ilustración 1.2. Gráfico demanda mensual ACS en nuestra instalación. (Fuente: Realizado en Excel con los datos de demanda anual y el factor de consumo mensual).

Vemos que la demanda (en litros) es bastante menor en los meses de verano, que es cuando la mayor parte de la gente está de vacaciones y porque la temperatura de consumo es más baja, y que en los meses de invierno es muy grande, ya que es cuando más se hace uso del agua caliente.

1.2.4. Uso de calefacción y climatización.

Como hemos comentado anteriormente, además de utilizar los colectores solares planos para ACS, también lo vamos a utilizar para calefacción y climatización. Como la carga térmica del edificio completa sería demasiado para el número de colectores que podemos colocar en el edificio, vamos a coger sólo una parte de este y vamos a ver cuánto nos podemos ahorrar por medio de los colectores solares, usando en invierno suelo radiante y en verano una máquina de absorción.

La parte del edificio que vamos a tomar para climatizar y calefactar es las viviendas B, C y D correspondientes a la planta primera y el segundo piso de la vivienda B y D que se encuentra en el bajo cubierta.

Las cargas térmicas de estas viviendas se realizan en un apartado posterior a este.

A la hora de analizar la viabilidad del proyecto tendremos que tener en cuenta si ha sido correcta la elección de sólo esta parte del edificio y si por el contrario, deberíamos haber tomado éste completo. Esta elección ha sido para intentar conseguir en esa zona del edificio un ahorro casi completo de energía no renovable. En posteriores apartados analizaremos si esto ha sido posible.

1.2.5. Consideraciones a tener en cuenta en las instalaciones solares.

En este apartado vamos a exponer las cosas a tener en cuenta a la hora de diseñar e instalar una instalación solar, tales como la protección contra heladas (porcentaje de refrigerante), sobrecalentamientos, pérdidas de los colectores por orientación, sombras y situación, conexionado, factor de corrección por inclinación, distancia mínima entre colectores.

1.2.5.1. Protección contra heladas.

Para proteger la instalación contra heladas, primero debemos saber si en la ubicación donde se encuentra ésta, la temperatura puede bajar de 0°C , y en ese caso tenemos que tomar la mínima histórica y ver qué cantidad de anticongelante tenemos que utilizar para que no se produzcan.

El anticongelante que vamos a usar es propilenglicol, y según datos obtenidos de CENSOLAR, la temperatura mínima histórica de Albacete es de -23°C , por lo tanto, para saber la cantidad de anticongelante que tenemos que utilizar, usamos la tabla siguiente.

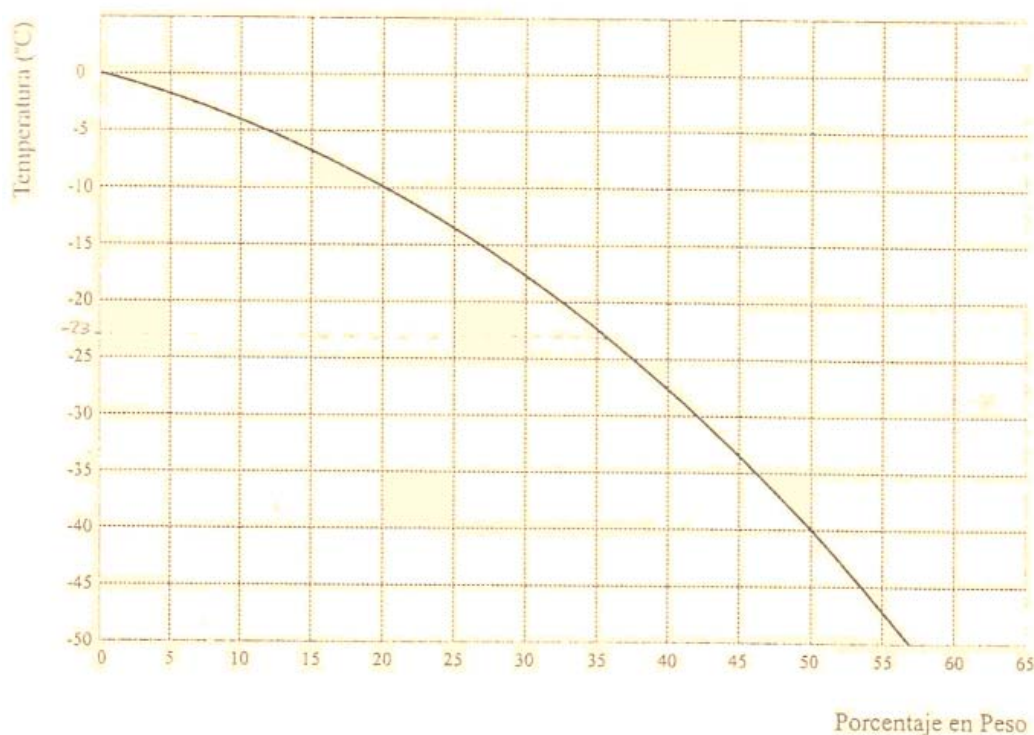


Ilustración 1.3. Gráfico de la variación de la temperatura de congelación con la proporción de propilenglicol en agua. (Fuente: DTIE 8.03).

Podemos observar en la gráfica que el porcentaje de propilenglicol necesario es del 36% en peso.

1.2.5.2. Sobrecalentamientos.

El sistema deberá estar diseñado de tal forma que con altas radiaciones solares prolongadas sin consumo de agua caliente, no se produzcan situaciones en las cuales el usuario tenga que realizar alguna acción especial para llevar al sistema a su forma normal de operación.

Cuando el sistema disponga de la posibilidad de drenajes como protección ante sobrecalentamientos, la construcción deberá realizarse de tal forma que el agua caliente o vapor del drenaje no supongan ningún peligro para los habitantes y no se produzcan daños en el sistema, ni en ningún otro material en el edificio o vivienda.

El sistema deberá ser diseñado de tal forma que nunca se exceda la máxima temperatura permitida por todos los materiales y componentes.

1.2.5.3. Pérdidas en el colector por orientación y sombras.

El CTE establece unos límites en los colectores solares por pérdidas por la orientación e inclinación y por las sombras. Este límite viene representado en la siguiente tabla:

Caso	Tabla 2.4 Pérdidas límite		
	Orientación e inclinación	Sombras	Total
General	10 %	10 %	15 %
Superposición	20 %	15 %	30 %
Integración arquitectónica	40 %	20 %	50 %

Tabla 1.8. Tabla de límite de pérdidas en colectores. (Fuente: CTE).

Nuestra instalación se encuentra dentro del caso general, ya que el tejado tiene una inclinación de 25° mientras que los colectores están a una inclinación de 39°. Observamos que podemos tener como máximo una pérdida por orientación e inclinación del 10%, por sombras del 10% y, además, la suma de ambas no puede ser superior al 15%.

- Pérdidas por orientación e inclinación:

Las pérdidas por este concepto se calcularán en función de:

a) ángulo de inclinación, β , definido como el ángulo que forma la superficie de los módulos con el plano horizontal. Su valor es 0 para módulos horizontales y 90° para verticales; en nuestro caso tiene un valor de 39°.

b) ángulo de acimut, α , definido como el ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano del lugar. Valores típicos son 0° para módulos orientados al sur, -90° para módulos orientados al este y +90° para módulos orientados al oeste. Como nuestros colectores están orientados al sur, tendrá un valor de 0°.

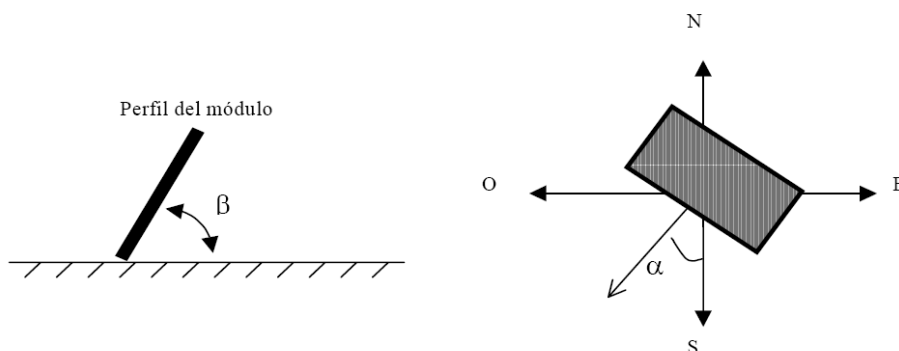


Ilustración 1.4. Esquema de ángulos en el colector. (Fuente: CTE).

El procedimiento es el siguiente:

Habiendo determinado el ángulo de azimut del captador, se calcularán los límites de inclinación aceptables de acuerdo a las pérdidas máximas respecto a la inclinación óptima establecida. Para ello se utilizará la Ilustración 1.5, válida para una latitud (N) de 41° , de la siguiente forma:

- Conocido el azimut, determinamos en la Ilustración 1.5 los límites para la inclinación en el caso $N=41^\circ$. Para el caso general, que es el nuestro, las pérdidas tienen que ser del 10%. Los puntos de intersección del límite de pérdidas con la recta de azimut nos proporcionan los valores de inclinación máxima y mínima.
- Si no hay intersección entre ambas, las pérdidas son superiores a las permitidas y la instalación estará fuera de los límites. Si ambas curvas se intersectan, se obtienen los valores para latitud $N = 41^\circ$ y se corrigen de acuerdo con lo que se cita a continuación.

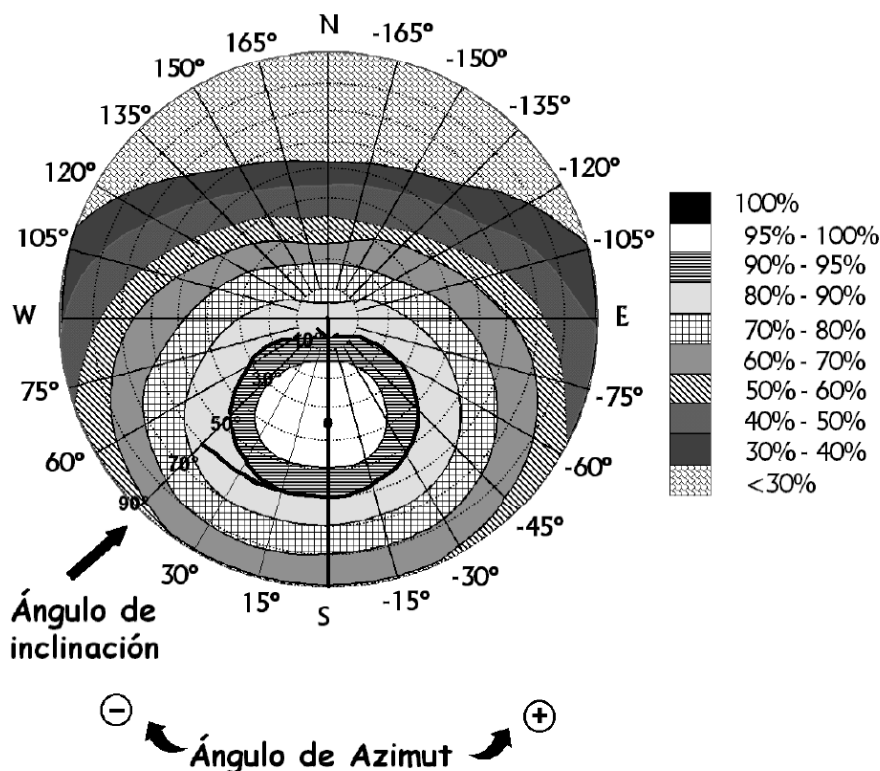


Ilustración 1.5. Porcentaje de energía respecto al máximo como consecuencia de las pérdidas por orientación e inclinación. (Fuente: CTE).

Conocido el azimut, cuyo valor es $+0^\circ$, determinamos en la figura adjunta los límites para la inclinación para el caso de $N = 41^\circ$. Los puntos de intersección del límite de pérdidas del 10 % (borde exterior de la región 90 % - 95 %), máximo para el caso general, con la recta de azimut nos proporcionan los valores:

Inclinación máxima = 60°

Inclinación mínima = 5°

Se corregirán los límites de inclinación aceptables en función de la diferencia entre la latitud del lugar en cuestión y la de 41° , de acuerdo a las siguientes fórmulas:

Inclinación máxima = inclinación ($N = 41^\circ$) - (41° - latitud);

Inclinación mínima = inclinación ($N = 41^\circ$) - (41° - latitud); siendo 0° su valor mínimo.

Corregido para la latitud del lugar:

Inclinación máxima = $60^\circ - (41^\circ - 39^\circ) = 58^\circ$.

Inclinación mínima = $5^\circ - (41^\circ - 39^\circ) = 3^\circ$.

Por tanto, esta instalación, de inclinación 40° , cumple los requisitos de pérdidas por orientación e inclinación.

- Pérdidas por sombras:

Para este apartado no tenemos datos ya que deberíamos conocer los edificios que hubiera en los alrededores del edificio correspondiente a nuestro proyecto, aun así lo normal es que este cálculo esté dentro de los valores permitidos

Por lo tanto a falta de conocer los datos por pérdidas por sombras, que tienen que ser menores a un 10%, podemos decir que la instalación cumple con los límites establecidos por el CTE.

1.2.5.4. Distancia mínima entre filas de captadores.

Se cumple la distancia mínima entre captadores. Además esta se ha aumentado, por lo que, los colectores delanteros no proyectan ningún tipo de sombra sobre los traseros.

1.2.5.5. Factor de corrección por inclinación.

Para calcular el factor de corrección por inclinación, tenemos que mirar en una tabla que se encuentra en el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura. En esta tabla podemos obtener el porcentaje de radiación solar que llega a nuestra instalación al mes. Para ello debemos mirar, teniendo en cuenta que nuestra instalación se encuentra en Albacete, que está a una latitud de 39° Norte, y que nuestros colectores tienen una inclinación de 39°. Por lo tanto mirando en la tabla podemos obtener nuestro factor de corrección:

LATITUD = 39°

Incli.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1,07	1,06	1,04	1,03	1,02	1,01	1,02	1,03	1,05	1,07	1,09	1,08
10	1,14	1,11	1,08	1,05	1,03	1,02	1,03	1,06	1,1	1,14	1,17	1,16
15	1,19	1,16	1,11	1,07	1,03	1,02	1,03	1,07	1,13	1,2	1,24	1,23
20	1,25	1,2	1,14	1,07	1,03	1,01	1,03	1,08	1,16	1,25	1,31	1,29
25	1,29	1,23	1,15	1,07	1,02	1	1,02	1,08	1,18	1,29	1,36	1,35
30	1,33	1,25	1,16	1,07	1	0,97	1	1,08	1,19	1,33	1,41	1,4
35	1,35	1,27	1,16	1,05	0,97	0,94	0,98	1,06	1,2	1,35	1,45	1,43
40	1,37	1,27	1,15	1,03	0,94	0,91	0,94	1,04	1,19	1,37	1,48	1,46
45	1,38	1,27	1,14	1	0,9	0,87	0,9	1,01	1,18	1,37	1,5	1,48
50	1,39	1,26	1,12	0,97	0,86	0,82	0,86	0,98	1,16	1,37	1,51	1,5
55	1,38	1,25	1,09	0,93	0,81	0,77	0,81	0,94	1,13	1,36	1,51	1,5
60	1,37	1,22	1,05	0,88	0,75	0,71	0,75	0,89	1,1	1,34	1,51	1,49
65	1,35	1,19	1,01	0,83	0,69	0,65	0,69	0,83	1,05	1,31	1,49	1,47
70	1,32	1,15	0,96	0,77	0,63	0,58	0,63	0,77	1	1,27	1,46	1,45
75	1,28	1,11	0,91	0,7	0,56	0,51	0,56	0,71	0,95	1,23	1,42	1,41
80	1,23	1,06	0,84	0,64	0,49	0,43	0,48	0,64	0,88	1,17	1,37	1,37
85	1,18	1	0,78	0,56	0,41	0,35	0,41	0,56	0,81	1,11	1,32	1,32
90	1,12	0,93	0,71	0,49	0,33	0,28	0,33	0,49	0,74	1,04	1,25	1,26

Tabla 1.9. Factor de corrección por inclinación. (Fuente: Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura).

1.2.5.5. Conexionado.

Los captadores se dispondrán en filas constituidas, preferentemente, por el mismo número de elementos. Las filas de captadores se pueden conectar entre sí en paralelo, en serie o en serie paralelo, debiéndose instalar válvulas de cierre en la entrada y salida de las distintas baterías de captadores y entre las bombas, de manera que puedan utilizarse para aislamiento de estos componentes en labores de mantenimiento, sustitución, etc.

Dentro de cada fila los captadores se conectarán en serie o en paralelo. El número de captadores que se pueden conectar en paralelo tendrá en cuenta las limitaciones del fabricante.

El número de captadores conexcionados en serie no será superior a tres. En casos de aplicaciones para algunos usos industriales y refrigeración por absorción, si está justificado, este número podrá elevarse a cuatro, siempre y cuando sea permitido por el fabricante. En el caso de que la aplicación sea de A.C.S. no deben conectarse más de dos captadores en serie.

Se dispondrá de un sistema para asegurar igual recorrido hidráulico en todas las baterías de captadores. En general se debe alcanzar un flujo equilibrado mediante el sistema de retorno invertido. Si esto no es posible, se puede controlar el flujo mediante mecanismos adecuados, como válvulas de equilibrado.

Se deberá prestar especial atención en la estanquidad y durabilidad de las conexiones del captador.

En la Ilustración 1.6. se pueden observar de forma esquemática las conexiones mencionadas en este apartado.

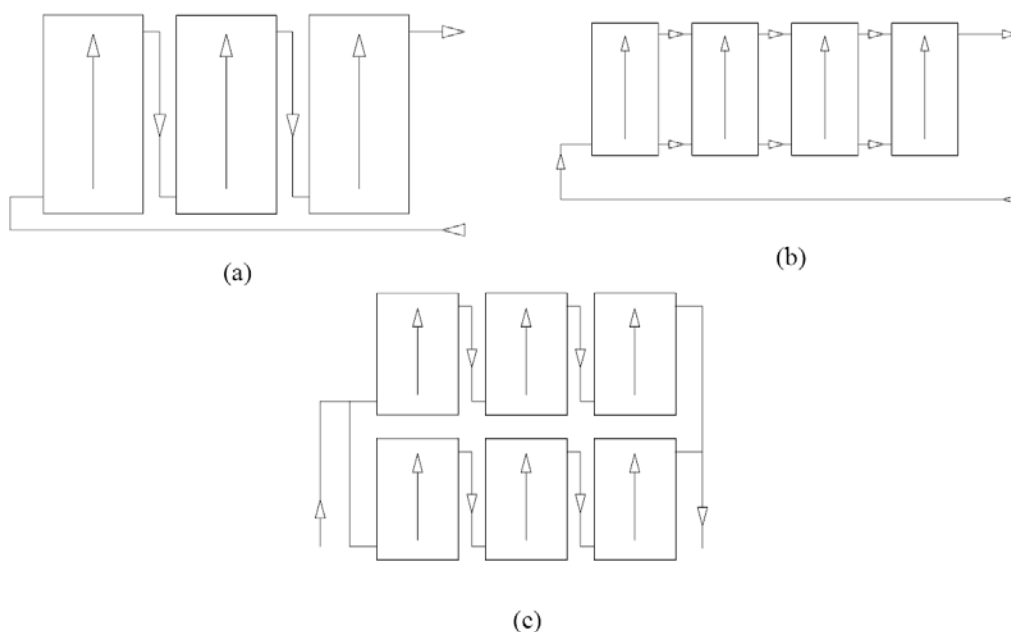


Fig. 2. Conexión de captadores: a) En serie. b) En paralelo. c) En serie-paralelo.

Ilustración 1.6. Conexionado de colectores. (Fuente: Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura).



En este proyecto vamos a utilizar la configuración de colectores agrupados en batería y en configuración paralela.

Cuando se interconectan varios captadores entre sí para formar una batería, normalmente se pretende hacer circular el mismo caudal de fluido a través de de cada captador siendo el caudal total la suma de los caudales individuales que circulan por cada captador. Por ese motivo se utiliza el conexionado en paralelo.



CAPÍTULO 2

CARGAS TÉRMICAS

2.1. Introducción.

El estudio de cargas térmicas supone el cálculo de la potencia térmica (o frigorífica) necesaria para cubrir la demanda necesitada por el edificio. Para ello es necesario efectuar un balance de pérdidas y ganancias de calor, tanto sensibles (afecta a la temperatura) como latentes (afecta a la cantidad de vapor de agua), entre el interior de la zona a tratar y el exterior o zonas no habitables.

La carga térmica (potencia de refrigeración o calentamiento que requiere la instalación, en un determinado instante, para mantener unas condiciones térmicas interiores dadas) variará dependiendo de la temperatura y humedad requerida en el interior, localización y las características de los cerramientos del local a acondicionar.

Las condiciones térmicas interiores vienen definidas en el RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios), y los datos necesarios de localización y cerramientos vienen definidos en el CTE (Código Técnico de la Edificación).

Para las cargas térmicas tenemos que tener en cuenta los casos más restrictivos, para poder atender la demanda en caso de necesidad, teniendo que diferenciar el cálculo de cargas térmicas para refrigeración y para calefacción. También hay que tener en cuenta si se trata de una carga sensible o una carga latente y si se trata de una carga interior o exterior.

Los tipos de cargas que tenemos son, dividiéndolas en cargas exteriores e interiores:

- Cargas exteriores
 - Cargas a través de paredes y suelo
 - Cargas a través de superficies acristaladas
 - Cargas debidas a la ventilación (tiene carga sensible y carga latente)
 - Cargas por infiltraciones (tiene carga sensible y carga latente)
- Cargas interiores
 - Ocupantes (tiene carga sensible y carga latente)
 - Iluminación
 - Maquinaria/equipos
 - Instalación

Cada tipo de carga se tratará de forma diferente para climatización y calefacción, teniendo en cuenta que al tener que tomar el caso más restrictivo algunas cargas no se tendrán en cuenta en algunas ocasiones.

Lo primero que voy a tener en cuenta a la hora del cálculo de las cargas térmicas es tener en el edificio unas transmitancias térmicas acordes al CTE, teniendo en cuenta la localización geográfica del edificio a climatizar o calefactar.

2.2. Cálculo de las transmitancias térmicas.

Como sólo vamos a calefactar y climatizar mediante la energía solar una parte del edificio sólo calcularemos las transmitancias térmicas que nos hagan falta para hallar las cargas térmicas que necesitamos. Las zonas a estudiar son las letras B, C y D del primer piso y sus respectivas buhardillas.

Vamos a seguir varios pasos para hacer más sencilla la definición de las transmitancias, tomaré como referencia el CTE e iré indicando paso por paso las cosas a tener en cuenta.

2.2.1. Método de verificación.

Para verificar que el edificio cumple con el CTE, este nos ofrece dos posibilidades de verificación, la opción simplificada y la opción general. Nosotros en nuestro proyecto vamos a emplear la **opción simplificada**, que se basa en el control indirecto de la demanda energética de los edificios mediante la limitación de los parámetros característicos de los cerramientos y particiones interiores que componen su envolvente térmica. La comprobación se realiza a través de la comparación de los valores obtenidos en el cálculo con los valores límite permitidos.

La opción simplificada tiene unos límites de aplicabilidad, es decir sólo puede ser aplicada cuando cumpla simultáneamente las condiciones siguientes:

- a) Que el porcentaje de huecos en cada fachada sea inferior al 60% de su superficie;
- b) Que el porcentaje de lucernarios sea inferior al 5% de la superficie total de la cubierta;

A continuación comprobamos que en la parte del edificio que vamos a estudiar se puede aplicar la opción simplificada:

a)

$$A_T = 90,09 \text{ m}^2$$

$$A_v = 14,03 \text{ m}^2$$

Porcentaje de huecos: 15,57% Cumple

b)

$$A_T = 140,59 \text{ m}^2$$

$$A_L = 6,912 \text{ m}^2$$

Porcentaje de lucernarios: 4,91% Cumple

2.2.2. Determinación zona climática.

Una vez elegido el método para calcular las transmitancias tenemos que saber la zona geográfica en la que nos encontramos, ya que dependiendo la zona se tienen unos valores límites diferentes de transmitancias. Nuestro edificio de viviendas se encuentra en **Albacete**, que corresponde a la **zona climática D3** según el CTE. Esta zona climática nos dará unos valores límite que mostraremos a continuación.

2.2.3. Valores límite de las transmitancias.

Los parámetros característicos que vamos a tener que hallar en nuestro edificio y que definen su envolvente térmica se agrupan en los siguientes tipos:

- transmitancia térmica de muros de fachada U_M ;
- transmitancia térmica de cubiertas U_C ;
- transmitancia térmica de medianerías U_{MD} ;
- transmitancia térmica de huecos U_H ;
- factor solar modificado de huecos F_H ;
- factor solar modificado de lucernarios F_L ;

Faltan algunos parámetros pero no van a hacer falta en el cálculo de nuestro edificio.

A continuación mostramos los valores límite de transmitancias permitidas por el CTE:

<i>Cerramientos y particiones interiores</i>	ZONAS A	ZONAS B	ZONAS C	ZONAS D	ZONAS E
Muros de fachada, <i>particiones interiores</i> en contacto con espacios no habitables, primer metro del perímetro de suelos apoyados sobre el terreno ⁽¹⁾ y primer metro de muros en contacto con el terreno	1,22	1,07	0,95	0,86	0,74
Suelos	0,69	0,68	0,65	0,64	0,62
Cubiertas	0,65	0,59	0,53	0,49	0,46
Vidrios y marcos ⁽²⁾	5,70	5,70	4,40	3,50	3,10
Medianerías	1,22	1,07	1,00	1,00	1,00

Tabla 2.1. Transmitancia térmica máxima de cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica U en W/m^2K . (Fuente: CTE).

Además de estos valores límite, también tenemos que tener en cuenta los valores medios a la hora de definir las transmitancias de nuestro edificio:

ZONA CLIMÁTICA D3

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno

$U_{Mlim}: 0,66 W/m^2 K$

Transmitancia límite de suelos

$U_{Slim}: 0,49 W/m^2 K$

Transmitancia límite de cubiertas

$U_{Clim}: 0,38 W/m^2 K$

Factor solar modificado límite de lucernarios

$F_{Llim}: 0,28$

% de huecos	Transmitancia límite de huecos ⁽¹⁾ U_{Hlim} W/m^2K				Factor solar modificado límite de huecos F_{Hlim}					
	N	E/O	S	SE/SO	Baja carga interna			Alta carga interna		
					E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	3,5	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,0 (3,5)	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	2,5 (2,9)	2,9 (3,3)	3,5	3,5	-	-	-	0,54	-	0,57
de 31 a 40	2,2 (2,5)	2,6 (2,9)	3,4 (3,5)	3,4 (3,5)	-	-	-	0,42	0,58	0,45
de 41 a 50	2,1 (2,2)	2,5 (2,6)	3,2 (3,4)	3,2 (3,4)	0,50	-	0,53	0,35	0,49	0,37
de 51 a 60	1,9 (2,1)	2,3 (2,4)	3,0 (3,1)	3,0 (3,1)	0,42	0,61	0,46	0,30	0,43	0,32

Tabla 2.2. Transmitancias límite según zona climática. (Fuente: CTE).

2.2.4. Clasificación de los espacios.

Los espacios interiores de los edificios se clasifican en espacios habitables y no habitables, en nuestro caso todos los espacios son habitables. A su vez los espacios habitables se clasifican en función de la cantidad de calor disipada en su interior, debido a la actividad realizada y el periodo de utilización de cada espacio en las siguientes categorías, espacios con baja carga interna y espacios con alta carga interna. En nuestro edificio todas las zonas pertenecen a espacios de baja carga interna.

2.2.5. Cálculo de las transmitancias.

Ahora procederemos a hallar las transmitancias térmicas y posteriormente comprobar si cumplen con el CTE. La transmitancia térmica se calcula como el inverso de la resistencia térmica total, teniendo en cuenta la resistencia del conjunto del muro y las resistencias de convección exterior e interior.

- **Muros exteriores (M1).**

Composición muro

Espesor (m)	Material	Conductividad (λ) (W/m*K)	Resistencia (m ² *K/W)
0,015	Yeso	0,3	0,05
0,05	Tabique H.D.	0,49	0,102
0,05	Poliuretano proyectado	0,023	2,17
0,04	Trasdosado MC	1,40	0,0286
0,14	Bloque termoarcilla	0,14	1
0,02	Mortero monocapa	0,233	0,086

Tabla 2.3. Composición de muro exterior.

$$R_t = 3,7123 \text{ m}^2\text{K/W}$$

La resistencia térmica ha sido calculada mediante la fórmula:

$$R = e / \lambda$$

Las resistencias térmicas de convección vienen dadas en el CTE:

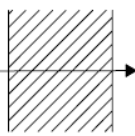
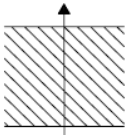
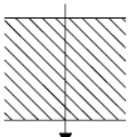
Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		R _{se}	R _{si}
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal >60° y flujo horizontal		0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal ≤60° y flujo ascendente		0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente		0,04	0,17

Tabla 2.4. Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en m²K/W. (Fuente: CTE).

Vemos en la tabla que nuestra resistencia de convección exterior es R_{se} = 0,04 y la de convección interior es R_{si} = 0.13.

Por lo tanto la resistencia total será:

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} = 3,61 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Y la transmitancia térmica:

$$U_{MI} = 0,277 \text{ W/ m}^2\text{K}$$

- **Cubierta en contacto con aire exterior (C1).**

Composición cubierta

Espesor (m)	Material	Conductividad (λ) (W/m*K)	Resistencia (m ² *K/W)
0.015	Teja mixta	0,47	0,031
0,04	Rasillón	0,32	0,125
0,05	Aislante	0,023	2,17
0,21	Bovedillas hormigón	0,37	0,57
0,015	Yeso	0,3	0,05

Tabla 2.5. Composición de la cubierta.

$$R_t = 2,946 \text{ (m}^2\text{K/W)}$$

Para calcular las resistencias de convección, vemos que dependiendo de si la carga es de calefacción o de climatización hay que coger resistencias térmicas de convección interiores diferentes, por lo tanto,

Para climatización:

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} = 3,156 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U_{Clim} = 0,317 \text{ W/ m}^2\text{K}$$

Para calefacción:

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} = 3,086 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U_{Cal} = 0,324 \text{ W/ m}^2\text{K}$$

- **Muros interiores.**

Composición

Espesor (m)	Material	Conductividad (λ) (W/m*K)	Resistencia (m ² *K/W)
0,015	Yeso	0,3	0,05
0,11	Ladrillo hueco	0,18	0,61
0,015	Yeso	0,3	0,05

Tabla 2.6. Composición de los muros interiores.

$$R_t = 0,71 \text{ (m}^2\text{K/W)}$$

Para muros interiores la resistencia térmica de convección exterior hay que tomarla igual que la exterior, es decir $R_{si} = R_{se} = 0,13$.

Entonces la resistencia térmica y la transmitancia serán:

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} = 0,97 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U_{Mint} = 1 \text{ W/ m}^2\text{K}$$

- **Huecos y lucernarios.**

En este caso hay que calcular tanto la transmitancia térmica como el factor solar.

Huecos:

La transmitancia térmica se calcula con la siguiente fórmula

$$U_H = (1 - FM) \times U_{H,v} + FM \times U_{H,m}$$

Siendo

$U_{H,V}$ la transmitancia térmica de la parte semitransparente [W/m²K];

$U_{H,m}$ la transmitancia térmica del marco de la ventana o lucernario, o puerta [W/m² K];

FM la fracción del hueco ocupada por el marco.

Hay dos tipos de ventanas:

a) Lado sur del edificio, hueco = 1,98 m², cristal = 1,70 m², FM = 14,14

b) Lado norte del edificio, hueco = 1,22 m², cristal = 1,01 m², FM = 17,35

En ambas ventanas las transmitancias son las mismas:

$$U_{H,V} = 1 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{H,m} = 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Por lo tanto, la transmitancia de los huecos será:

$$U_{HA} = 1,0707 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{HB} = 1,087 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Para obtener el factor sólo tenemos que aplicar la siguiente ecuación:

$$F = F_s \times [(1 - FM) \times g_{\perp} + FM \times 0,04 \times U_m \times \alpha]$$

Siendo

F_s el factor sombra del hueco o lucernario, en nuestro caso su valor es 1.

FM la fracción de hueco ocupada por el marco.

g_{\perp} el factor solar de la parte semitransparente del hueco o lucernario a incidencia normal.

U_m la transmitancia térmica del marco del hueco o lucernario.

α la absorptividad del marco obtenida del CTE.

$FM_A = 0,1414$; $FM_B = 0,1735$; $g_{\perp} = 29$; $\alpha = 0,55$; (Fuente: VELUX).

Con todos los datos ya puedo calcular el factor solar de los huecos:

$$F_{HA} = 0,18$$

$$F_{HB} = 0,24$$

Lucernarios:

La transmitancia térmica se calcula con la siguiente fórmula

$$U_L = (1 - FM) \times U_{H,V} + FM \times U_{H,m}$$

Siendo

$U_{H,V}$ la transmitancia térmica de la parte semitransparente [W/m²K];

$U_{H,m}$ la transmitancia térmica del marco de la ventana o lucernario, o puerta [W/m² K];

FM la fracción del hueco ocupada por el marco.

Cálculo FM: hueco = 0,77 m², cristal = 0,63 m², FM = 18,18

Transmitancias:

$U_{H,V} = 1$ W/m²K

$U_{H,m} = 1,5$ W/m²K

Por lo tanto, la transmitancia en el lucernario será:

$$U_L = 1,091 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Para obtener el factor sólo tenemos que aplicar la siguiente ecuación:

$$F = F_s \times [(1 - FM) \times g_L + FM \times 0,04 \times U_m \times \alpha]$$

Siendo

F_s el factor sombra del hueco o lucernario, en nuestro caso su valor es 1.

FM la fracción de hueco ocupada por el marco.

g_L el factor solar de la parte semitransparente del hueco o lucernario a incidencia normal.

U_m la transmitancia térmica del marco del hueco o lucernario.

α la absorptividad del marco obtenida del CTE.

$FM_L = 0,1818$; $g_L = 29$; $\alpha = 0,55$; (Fuente: VELUX).

Con todos los datos ya puedo calcular el factor solar del lucernario:

$$F_L = 0,24$$

- Puertas:**

Para la transmitancia de las puertas que dan a las zonas comunes tomamos un valor de:

$$U_{\text{puerta}} = 2 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{K}$$

2.2.6. Validación de las transmitancias mediante el CTE.

Como comentamos anteriormente, existen unos valores límites tanto en el valor de las transmitancias individuales como en sus valores medios referidos al conjunto de ellas referidas a su vez a una misma zona, a continuación compararemos los valores individuales y los valores medios.

Para el límite de los valores medios, el CTE te da las partes que hay que relacionar y cuya transmitancia no debe superar el valor límite dado en las tablas por regiones.

Tabla 3.1 Síntesis del procedimiento de comparación con los valores límite

Cerramientos y particiones interiores	Componentes		Parámetros característicos	Parámetros característicos medios	Comparación con los valores límites
CUBIERTAS	C ₁	En contacto con el aire	U _{C1}	$U_{cm} = \frac{\sum A_c \cdot U_c + \sum A_{pc} \cdot U_{pc} + \sum A_L \cdot U_L}{\sum A_c + \sum A_{pc} + \sum A_L}$	U _{Cm} ≤ U _{Clim}
	C ₂	En contacto con un espacio no habitable	U _{C2}		
	P _C	Puente térmico (Contorno de lucernario > 0,5 m²)	U _{PC}		
	L	Lucernarios	U _L		
			F _L	$F_{Lm} = \frac{\sum A_F \cdot F_L}{\sum A_F}$	F _{Lm} ≤ F _{Llim}
FACHADAS	M ₁	Muro en contacto con el aire	U _{M1}	$U_{Mm} = \frac{\sum A_M \cdot U_M + \sum A_{PF} \cdot U_{PF}}{\sum A_M + \sum A_{PF}}$	U _{Mm} ≤ U _{Mlim}
	M ₂	Muro en contacto con espacios no habitables	U _{M2}		
	P _{F1}	Puente térmico (contorno de huecos > 0,5 m²)	U _{PF1}		
	P _{F2}	Puente térmico (pilares en fachada > 0,5 m²)	U _{PF2}		
	P _{F3}	Puente térmico (caja de persianas > 0,5 m²)	U _{PF3}		
	H	Huecos	U _H	$U_{Hm} = \frac{\sum A_H \cdot U_H}{\sum A_H}$	U _{Hm} ≤ U _{Hlim}
			F _H	$F_{Hm} = \frac{\sum A_H \cdot F_H}{\sum A_H}$	F _{Hm} ≤ F _{Hlim}

Tabla 2.7. Síntesis del procedimiento de comparación de valores límite. (Fuente: CTE).

Primero comparamos los valores límite de cada parte del edificio comparada con la tabla correspondiente a la zona climática correspondiente a Albacete (D3).

Cerramientos y particiones interiores	ZONAS A	ZONAS B	ZONAS C	ZONAS D	ZONAS E
Muros de fachada, <i>particiones interiores</i> en contacto con espacios <i>no habitables</i> , primer metro del perímetro de suelos apoyados sobre el terreno ⁽¹⁾ y primer metro de muros en contacto con el terreno	1,22	1,07	0,95	0,86	0,74
Suelos	0,69	0,68	0,65	0,64	0,62
Cubiertas	0,65	0,59	0,53	0,49	0,46
Vidrios y marcos ⁽²⁾	5,70	5,70	4,40	3,50	3,10
Medianerías	1,22	1,07	1,00	1,00	1,00

Tabla 2.8. Valores límite de transmitancias por zona climática. (Fuente: CTE).

$$U_{Ml} = 0,277 \text{ W/ m}^2\text{*K} < U_{Mlim} = 0,86 \text{ W/ m}^2\text{*K}$$

$$U_{Clim} = 0,317 \text{ W/ m}^2\text{*K} < U_{Clim} = 0,49 \text{ W/ m}^2\text{*K}$$

$$U_{Cal} = 0,324 \text{ W/ m}^2\text{*K} < U_{Clim} = 0,49 \text{ W/ m}^2\text{*K}$$

$$U_{HV} = 1 \text{ W/ m}^2\text{*K} < U_{HVlim} = 3,5 \text{ W/ m}^2\text{*K}$$

$$U_{Hmarcos} = 1,5 \text{ W/ m}^2\text{*K} < U_{Hmarcoslim} = 3,5 \text{ W/ m}^2\text{*K}$$

A continuación pasamos a calcular los valores medios teniendo en cuenta el método que nos da el CTE. Para ello tenemos una tabla que nos da los valores límite medios con respecto a la zona geográfica que nos encontremos

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	$U_{Mlim}: 0,66 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de suelos	$U_{Slim}: 0,49 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de cubiertas	$U_{Clim}: 0,38 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Factor solar modificado límite de lucernarios	$F_{Llim}: 0,28$

% de huecos	Transmitancia límite de huecos ⁽¹⁾ $U_{Hlim} \text{ W/m}^2\text{K}$				Factor solar modificado límite de huecos F_{Hlim}				
	N	E/O	S	SE/SO	Baja carga interna			Alta carga interna	
					E/O	S	SE/SO	E/O	S
de 0 a 10	3,5	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,0 (3,5)	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-
de 21 a 30	2,5 (2,9)	2,9 (3,3)	3,5	3,5	-	-	-	0,54	-
de 31 a 40	2,2 (2,5)	2,6 (2,9)	3,4 (3,5)	3,4 (3,5)	-	-	-	0,42	0,58
de 41 a 50	2,1 (2,2)	2,5 (2,6)	3,2 (3,4)	3,2 (3,4)	0,50	-	0,53	0,35	0,49
de 51 a 60	1,9 (2,1)	2,3 (2,4)	3,0 (3,1)	3,0 (3,1)	0,42	0,61	0,46	0,30	0,43

Tabla 2.9. Tabla valores límites medios de transmitancias para Albacete. (Fuente: CTE).

Empezamos por los valores medios de la fachada, para ello tenemos que definir los puentes térmicos que encontramos en la fachada., los de contorno de huecos y pilares de fachada no los tenemos en cuenta ya que tenemos puentes térmicos de ese tipo, el que sí hay que tener en cuenta son los puentes térmicos de cajas de persianas. Como tenemos 2 tipos de ventana, tendremos dos puentes térmicos diferentes, pero la caja de ventana de la ventana tipo B tiene un área $< 0,5 \text{ m}^2$. Por lo tanto sólo tendremos en cuenta el puente térmico de las ventanas tipo A. Haciendo el cálculo nos da:

$$U_{PF3} = 11,11 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Con esto ya podemos hallar la transmitancia media de la fachada:

$$U_{Mm} = \frac{A_{M1} \cdot U_{M1} + A_{PF} \cdot U_{PF}}{A_{M1} + A_{PF}} = 0,52 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$U_{Mm} = 0,52 \text{ W/ m}^2\text{*K} < U_{Mlim} = 0,66 \text{ W/ m}^2\text{*K}$$

Con respecto a los huecos, como vimos anteriormente a la hora de elegir el método de verificación, el porcentaje de huecos es aproximadamente del 15% y tenemos que tener en cuenta la orientación. Tenemos dos tipos de ventanas, las tipo A que dan al sur, y las tipo B que dan al norte.

$$U_{HA} = 1,0707 \text{ W/m}^2\text{K} < U_{Hlim} = 3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{HB} = 1,087 \text{ W/m}^2\text{K} < U_{Hlim} = 3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Y vemos que para el factor solar de huecos no hay límite para nuestro porcentaje de huecos de fachada.

Cálculo de los valores medios de la cubierta teniendo en cuenta que la transmitancia cambia según sea para climatización o calefacción:

$$U_{Cmc\lim} = \frac{\sum A_C \cdot U_C + \sum A_{PC} \cdot U_{PC} + \sum A_L \cdot U_L}{\sum A_C + \sum A_{PC} + \sum A_L} = 0,355 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$U_{Cmcal} = \frac{\sum A_C \cdot U_C + \sum A_{PC} \cdot U_{PC} + \sum A_L \cdot U_L}{\sum A_C + \sum A_{PC} + \sum A_L} = 0,362 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$U_{Cmclim} = 0,355 \text{ W/ m}^2\text{*K} < U_{Clim} = 0,38 \text{ W/ m}^2\text{*K}$$

$$U_{Cmcal} = 0,362 \text{ W/ m}^2\text{*K} < U_{Clim} = 0,38 \text{ W/ m}^2\text{*K}$$

Una vez que están calculadas y validadas las transmitancias pasamos al cálculo de las cargas térmicas, teniendo en cuenta que hay que diferenciar entre las cargas térmicas para climatización y calefacción.

2.3. Cargas térmicas para refrigeración.

Para las cargas térmicas tenemos que tener en cuenta los casos más restrictivos, para poder atender la demanda en caso de necesidad. Para los meses de verano, que es cuando usamos la refrigeración, el momento de máxima carga se produce aproximadamente a las 15:00. Estos meses en los que vamos a calcular la carga térmica son Junio, Julio, Agosto y Septiembre.

Las condiciones que tomamos para el interior de la vivienda son:

$$T_i = 23\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{HR (\%)} = 50\%$$

A continuación explicamos el cálculo de las diferentes cargas térmicas que se dan en climatización:

2.3.1. Cargas externas.

2.3.1.1. Cargas a través de paredes y techos.

Se trata de una carga sensible que se evalúa de acuerdo a la siguiente expresión:

$$Q_{sen} = A \cdot U \cdot \Delta te$$

Donde:

- Q_{sen} es la carga por transmisión (W)
- A es la superficie del cerramiento (m^2)
- U es el coeficiente global de transferencia de calor o transmitancia $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$
- Δte es la diferencia de temperaturas equivalente, cuyo cálculo se explica a continuación:

Diferencia de temperaturas equivalente:

El flujo de calor de acuerdo a la ecuación anterior supone que el local se encuentra en condiciones de régimen permanente, sin embargo, en las instalaciones esto no es así, por dos razones fundamentales:

- La temperatura seca exterior varía a lo largo del día,
- Sobre la pared incide una radiación solar importante.

Una de las formas de aproximar el valor de Δte es mediante el método que ASHRAE denomina *Transfer Function Method* (Método de la Función de Transferencia), ya que la respuesta del muro (dependiendo de su composición, entre otras propiedades, su inercia térmica y su conductividad) se evalúa a partir de funciones de transferencia que caracterizan su respuesta ante variaciones de sus condiciones de contorno. Se obtiene de este modo una temperatura exterior “equivalente”, Teq que permite calcular Δte como $\Delta te = Teq - TsL$, donde TsL es la temperatura del local.

Este método nos aporta una tabla con una Δte para unas condiciones determinadas, que mediante unas modificaciones podemos usarla en el cálculo de la Δte de nuestro caso. Los datos de la tabla siguiente están tomados en las siguientes condiciones: temperatura exterior=35°C; temperatura interior=27°C; OMD=11°C. Mes de Julio 40°Latitud norte.

Δte_{tabla}	ORIENTACION				
Hora solar	Este	Oeste	Sur	Norte	Techo
6	2.8	3.9	2.2	0.5	5
7	2.8	3.9	2.2	0.5	4.4
8	3.3	3.3	1.1	0	3.3
9	4.4	3.3	1.1	0	3.9
10	7.8	3.3	1.1	0	4.4
11	11.1	3.3	1.7	0	6.1
12	13.3	3.3	2.2	0	8.9
13	13.9	3.9	4.4	0.5	12.2
14	13.3	4.4	6.7	1.1	15
15	11.1	5.5	8.3	1.7	17.2
16	10	6.7	8.9	2.2	19.4
17	8.9	9.4	10	2.8	21.2
18	7.8	11.1	10	2.8	21.7
19	7.8	13.9	8.3	2.8	21.1

Tabla 2.10. Variación de temperatura por orientación y por hora solar. (Fuente: Departamento de Ingeniería Térmica, Calor y Frío Industrial).

Nos interesan los valores de Δte pertenecientes a las 15:00, pero dado que estas tablas se han elaborado en unas condiciones determinadas del ambiente (tanto interior como exterior), para su ampliación a otras condiciones suele ser necesario aplicar una serie de coeficientes de corrección, para tener en cuenta otras temperaturas de diseño, y distintas variaciones diarias de temperatura (OMD). Para otras condiciones se deben aplicar los siguientes factores de corrección:

Corr.=a	OMD en 24h				
$T_{\text{ext,dis}} - T_{\text{sL}}$	8	10	12	14	16
0	-6.6	-7.6	-8.5	-9.4	-10.3
4	-2.7	-3.6	-4.6	-5.5	-6.4
8	1.2	0.3	-0.7	-1.6	-2.5
10	3.1	2.2	1.2	0.3	-0.6

Tabla 2.11. Factor de corrección a. (Fuente: Departamento de Ingeniería Térmica, Calor y Frío Industrial).

Con lo que finalmente: $\Delta t_e = \Delta t_e \text{ tabla} + a$.

En julio, las condiciones exteriores según la UNE100001 para la temperatura seca en verano es $T_{\text{seca}} = 33,1^\circ\text{C}$ y para el OMD = 16°C , luego con $T_{\text{ext,dis}} - T_{\text{sL}} = 10.1$ y el OMD podemos entrar en la tabla. Nos da un factor de corrección, a, de -0,6.

Pero con estos valores sólo obtenemos los valores para el mes de Julio, para cambiar de mes podemos usar la UNE100014 para obtener las correcciones de temperatura en función del mes y del OMD:

Tabla 3
Correcciones de la temperatura seca exterior en función del mes

OMD $^\circ\text{C}$	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
45	13,5	8,9	4,4	1,7	0	0	2,4	6,7	11,5
40	7,5	5,0	2,2	0,6	0	0	1,3	3,9	8,0
35	5,7	4,2	2,0	0,6	0	0	1,1	3,1	6,2
30	3,2	2,7	1,7	0,6	0	0	1,1	2,2	4,3
25	2,2	1,7	1,1	0,6	0	0	0,9	1,7	3,3
20	1,7	1,2	0,8	0,5	0	0	0,7	1,2	2,5

Tabla 2.12. Tabla de correcciones de temperatura seca exterior en función del mes. (Fuente: UNE 10014).

Nuestra OMD es 16°C , nos aproximamos al valor de OMD = 20°C y obtenemos las siguientes correcciones para los diferentes meses, Junio = 0,5, Agosto = 0 y Septiembre = 0,7.

Por lo tanto, nuestra Δt_e en función de la orientación y del mes queda del siguiente modo:

Δt_e (°C)	Orientación				
Mes	Este	Oeste	Sur	Norte	Techo
Junio	10	4,4	7,2	0,5	16,1
Julio	10,5	4,9	7,7	1	16,6
Agosto	10,5	4,9	7,7	1	16,6
Septiembre	9,8	4,2	7	0,3	15,9

Tabla 2.13. Variación de temperatura por orientación y por mes. (Fuente: obtenido haciendo cálculos mediante las tablas 2.10, 2.11 y 2.12).

Lo visto hasta ahora corresponde al análisis de la carga por transmisión a través de un cerramiento en contacto con el exterior. En el caso de que el cerramiento esté en contacto con un local acondicionado a una temperatura diferente (constante), la diferencia de temperaturas será $\Delta t_e = T_{\text{otro_local}} - T_{sL}$.

Para el cálculo de la transmisión de calor a través de las ventanas por ser los vidrios materiales con poca inercia, el flujo de calor por conducción convección se calcula por:

$$q = U \cdot A \cdot (T_{se} - T_{sL})$$

Donde:

- U es el Coeficiente global de transmisión (W/m²°C)
- A es la superficie acristalada (m²)
- T_{se} es la temperatura seca exterior de proyecto (°C)
- T_{sL} es la temperatura seca del local (°C)

Con estos valores de Δt_e , con las transmitancias halladas anteriormente y con las áreas correspondientes podemos obtener las cargas por transmisión a través de las paredes y techos para climatización.

$$Q_{\text{transJunio}} = 1,111 \text{ KW}$$

$$Q_{\text{transJulio}} = 1,262 \text{ KW}$$

$$Q_{\text{transAgosto}} = 1,248 \text{ KW}$$

$$Q_{\text{transSeptiembre}} = 1,069 \text{ KW}$$

2.3.1.2. Transmisión de calor a través de superficies acristaladas por radiación solar.

Esta parte nos permite hallar la carga térmica producida por la incidencia de los rayos solares sobre una superficie transparente, su valor sería:

$$Q_{\text{radiación}} = I_T \cdot A \cdot F$$

Donde:

I_T es la radiación total que incide sobre la superficie acristalada en W/m^2 .

A es el área del cristal o del lucernario.

F es el factor solar del hueco o del lucernario.

Para el cálculo de la radiación solar, utilizamos una página dada por la web CENSOLAR (**PVGIS**, *Solar Irradiation Data Utility*), en esta página podemos obtener datos de irradiación por mes, por orientación y por inclinación (para las ventanas y los lucernarios). Los datos obtenidos se representan a continuación:

I (W/m^2)	Tipo y orientación				
Mes	Ventana sur	Ventana norte	Lucernario sur	Lucernario este	Lucernario norte
Junio	271	94	675	479	598
Julio	277	89	700	480	586
Agosto	348	89	682	430	505
Septiembre	427	77	631	341	373

Tabla 2.14. Radiación solar por orientación 7 y por mes. (Fuente: CENSOLAR).

Obteniendo los siguientes valores de cargas por radiación solar:

$$Q_{\text{radiacJunio}} = 1,515 \text{ KW}$$

$$Q_{\text{radiacJulio}} = 1,521 \text{ KW}$$

$$Q_{\text{radiacAgosto}} = 1,535 \text{ KW}$$

$$Q_{\text{radiacSeptiembre}} = 1,471 \text{ KW}$$

2.3.2.3. Carga debida a ventilación.

En las instalaciones de aire acondicionado es necesario prever una cierta renovación del aire (para la eliminación de olores y otros factores, e introducción de suficiente oxígeno) para asegurar la calidad del aire en el interior del local.

El aire exterior introducido será compensado con el mismo caudal de aire extraído o expulsado por ventanas y puertas, con el fin de mantener la misma cantidad de aire seco en el interior del local. Esta carga tiene una parte sensible y otra latente. Para la carga latente exterior hemos tomado las máximas temperaturas seca y húmeda para cada mes y con ellas hemos hallado la relación de humedad exterior; para la relación de humedad exterior hemos tomado las condiciones interiores de diseño de temperatura seca y humedad relativa. La cantidad de calor sensible y latente aportado como carga en forma instantánea se obtiene como:

- Carga sensible:

$$Q_{sen} = V_{vent} \cdot \rho \cdot Cp \cdot (T_{se} - T_{sL})$$

Donde:

Q_{sen} es la carga sensible (W)

Cp es el calor específico del aire (J/kg°C)

T_{se} es la temperatura seca exterior (°C)

T_{sL} es la temperatura seca del local (°C)

- Carga latente:

$$Q_{lat} = V_{vent} \cdot \rho \cdot h_{fg} \cdot (w_e - w_L)$$

Donde:

Q_{lat} es la carga latente (W).

h_{fg} es el calor latente de cambio de fase del agua (J/kg).

w_e es la relación de humedad del aire exterior (kg/kg).

w_L es la relación de humedad del aire del local (kg/kg).

V_{vent} es el caudal de ventilación (m³/s).

ρ densidad del aire de ventilación (kg/m³).

Para el cálculo del caudal de ventilación, tenemos que mirar el CTE_DB_HS (Documento Básico de Salubridad) donde vienen unos caudales mínimos de ventilación:

Tabla 2.1 Caudales de ventilación mínimos exigidos

		Caudal de ventilación mínimo exigido q_v en l/s		
		Por ocupante	Por m ² útil	En función de otros parámetros
Locales	Dormitorios	5		
	Salas de estar y comedores	3		
	Aseos y cuartos de baño			15 por local
	Cocinas		2 ⁽¹⁾	50 por local ⁽²⁾
	Trasteros y sus zonas comunes		0,7	
	Aparcamientos y garajes			120 por plaza
	Almacenes de residuos		10	

Tabla 2.15. Caudales de ventilación mínimo exigidos. (Fuente: CTE).

El número de habitantes se considera:

- Dormitorio individual 1 persona y doble 2 personas.
- Comedor: suma de los contabilizados en los dormitorios.
- En los locales destinados a varios usos se considera el caudal correspondiente al uso para el que resulte un caudal mayor.

Los caudales de ventilación serán, agrupados por portales:

- Portal B:

Salón comedor: 2 personas * 3 l/s = 6 l/s.

Cocina: 2 * Área = 10,84 l/s.

Dormitorio: 2 personas * 5 l/s = 10 l/s.

Baño: 15 l/s.

$Q_B = 41,48$ l/s.

- Portal C:

Salón-comedor-cocina: $2 * \dot{A}rea = 12,88 \text{ l/s}$.

Dormitorio 1: $2 \text{ personas} * 5 \text{ l/s} = 10 \text{ l/s}$.

Dormitorio 2: $2 \text{ personas} * 5 \text{ l/s} = 10 \text{ l/s}$.

Baño: 15 l/s .

$Q_C = 47,88 \text{ l/s}$.

- Portal D:

Salón-comedor-cocina: $2 * \dot{A}rea = 9,62 \text{ l/s}$.

Distribuidor-sala de estar: $2 \text{ personas} * 3 \text{ l/s} = 6 \text{ l/s}$.

Dormitorio: $2 \text{ personas} * 5 \text{ l/s} = 10 \text{ l/s}$.

Baño: 15 l/s .

$Q_D = 40,62 \text{ l/s}$.

Teniendo los valores de los caudales de ventilación ya podemos obtener la carga térmica por ventilación, tanto sensible como latente:

- **Carga sensible:**

$$Q_{\text{ventjunio}} = 834,417 \text{ W}$$

$$Q_{\text{ventjulio}} = 1,618 \times 10^3 \text{ W}$$

$$Q_{\text{ventagosto}} = 1,516 \times 10^3 \text{ W}$$

$$Q_{\text{ventseptiembre}} = 647,099 \text{ W}$$

- **Carga latente:**

$$Q_{\text{ventjunio}} = 1,647 \times 10^3 \text{ W}$$

$$Q_{\text{ventjulio}} = 1,264 \times 10^3 \text{ W}$$

$$Q_{\text{ventagosto}} = 880,76 \text{ W}$$

$$Q_{\text{ventseptiembre}} = 1,264 \times 10^3 \text{ W}$$

2.3.1.4. Carga debida a infiltraciones.

Es probablemente la carga más difícil de estimar porque es altamente subjetiva. Se trata, como en el caso de la ventilación, de una carga instantánea, que aporta tanto calor sensible como calor latente al local. Se evalúa de forma semejante a lo visto para la carga de ventilación, en donde se sustituye el caudal de ventilación por el caudal de aire infiltrado. La dificultad radica justamente en estimar dicho caudal de aire infiltrado. Este aire entra en la instalación por la diferencia de presiones entre el exterior y el interior por efecto del viento, y por diferencias de densidades (efecto chimenea).

De acuerdo al DB-HE1, la permeabilidad de las carpinterías de los huecos y lucernarios de los cerramientos que limitan los espacios habitables de los edificios con el ambiente exterior se limita en función del clima de la localidad en la que se ubican, según la zonificación climática establecida en el apartado 3.1.1. de dicho DB-HE1. Así, la permeabilidad al aire de las carpinterías, medida con una sobrepresión de 100 Pa, tendrá unos valores inferiores a los siguientes:

- a) para las zonas climáticas A y B: 50 m³/h m²;
- b) para las zonas climáticas C, D y E: 27 m³/h m². (nuestro caso)

El caudal de aire infiltrado lo podemos obtener mediante el valor de la permeabilidad del tipo de ventanas escogido, en nuestro caso, las ventanas tienen una permeabilidad con un valor de 9 m³/h*m². Este valor lo transformamos de la siguiente manera para hallar el volumen de infiltraciones:

$$V_{\text{inf}} = V_{\text{perm}} \cdot \frac{1}{3600} \cdot \text{Área}_{\text{cerramiento}}(m^2)$$

Por lo tanto el volumen total infiltrado por cada tipo de ventana o lucernario será:

$$V_{\text{infventanaA}} = 0,0198 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_{\text{infventanaB}} = 0,0153 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_{\text{influcernario}} = 0,01728 \text{ m}^3/\text{s}$$

Y el valor de la carga interna, tanto latente como sensible, será:

- **Carga sensible:**

$$Q_{\text{infjunio}} = 335,329 \text{ W}$$

$$Q_{\text{infjulio}} = 650,127 \text{ W}$$

$$Q_{\text{infagosto}} = 609,067 \text{ W}$$

$$Q_{\text{infseptiembre}} = 260,051 \text{ W}$$

- **Carga latente**

$$Q_{\text{infjunio}} = 661,737 \text{ W}$$

$$Q_{\text{infjulio}} = 507,845 \text{ W}$$

$$Q_{\text{infagosto}} = 353,953 \text{ W}$$

$$Q_{\text{infseptiembre}} = 507,845 \text{ W}$$

2.3.2. Cargas internas.

2.3.2.1. Ocupantes.

Los ocupantes aportan carga sensible y carga latente, en función de la actividad que estén desarrollando. Los valores estimados típicos de la carga disipada por una persona (en reposo) son:

$$Q_{\text{sen}} = 60 \text{ kcal/h} = 70 \text{ W}$$

$$Q_{\text{lat}} = 50 \text{ kcal/h} = 60 \text{ W}$$

La carga total aportada será el producto del número de personas en el local por el calor que disipa cada persona.

Además se suele tener en cuenta un factor de simultaneidad de las personas presentes en el local cuyo valor aproximado se puede tomar igual a 0.75. De esta forma esta carga se calculará como:

$$Q = Q_{\text{persona}} * (\text{número de personas}) * 0,75$$

El cálculo de la carga interna por ocupantes lo hago por vivienda, ya que depende del número de personas de cada una. El número de personas es, para la vivienda B, 2 personas, para la C, 4 personas, y para la D, 2 personas. Luego la carga térmica será:

- **Carga sensible:**

$$Q_{\text{ocupantes}} = 420 \text{ W}$$

- **Carga latente;**

$$Q_{\text{ocupantes}} = 360 \text{ W}$$

Este valor es el mismo para todos los meses.

2.3.2.2. Iluminación.

El calor desprendido por las luces es todo calor sensible, pero una parte es carga por radiación y otra lo es por convección, dependiendo del tipo de iluminación, por lo que nuevamente la carga instantánea de refrigeración deberá tener en cuenta el efecto del almacenamiento, si se pretende evaluar con precisión su contribución a la carga total.

Para el cálculo de esta carga térmica, vamos a hacer la suposición de que se genera una potencia de 15 W/m^2 ; es un valor aproximado pero válido ya que es un caso desfavorable, que es lo que necesitamos para estar seguros de que se atiende la demanda necesaria.

También hacemos este cálculo por portales y la carga es la misma para todos los meses. En este caso sólo existe carga sensible.

$$Q_{\text{iluminación}} = 2,362 \times 10^3 \text{ W}$$

2.3.2.3. Equipos eléctricos.

Los equipos eléctricos y aparatos domésticos también contribuyen en el cálculo de la carga térmica. Por ejemplo la nevera, el microondas, el lavavajillas, el ordenador. Haciendo una estimación de la contribución de cada uno, se llega que aporta una carga térmica sensible, al mes y por portal de:

$$Q_{\text{equipos}} = 103,8 \text{ W}$$

2.3.2.4. Coeficiente de seguridad.

Se utilizará un coeficiente de seguridad del 5%, ya que se ha realizado un cálculo de cargas térmicas bastante detallado y tomando siempre los casos más restrictivos.

2.3.2.5. Resultados carga térmica de refrigeración.

A continuación representamos los resultados obtenidos para refrigeración por cada mes de verano:

$$Q_{\text{climatizaciónjunio}} = 1,004 \times 10^4 \text{ W}$$

$$Q_{\text{climatizaciónjulio}} = 1,095 \times 10^4 \text{ W}$$

$$Q_{\text{climatizaciónagosto}} = 1,008 \times 10^4 \text{ W}$$

$$Q_{\text{climatizaciónseptiembre}} = 9,106 \times 10^3 \text{ W}$$

Hay que tener en cuenta que estos valores son puntuales, es decir, suponen el máximo valor de demanda que existe en el edificio en cada mes. A la hora de dimensionar el método de refrigeración, tendremos que tener en cuenta este máximo para que las zonas a climatizar se puedan encontrar siempre a la temperatura deseada.

2.4. Cargas térmicas para calefacción.

La estimación de la potencia térmica máxima para calefacción es más directa, calculándose para la situación más desfavorable: temperatura mínima, radiación solar nula, mínima presencia de personas, luces y motores. En el caso de calefacción, hay que tener en cuenta que las cargas son pérdidas de calor, al mantenerse una temperatura ambiente superior a la temperatura exterior, excepto en el caso de las cargas internas que aportaran calor al ambiente y serán beneficiosas para mantener la temperatura.

En este caso, el cálculo de las cargas sigue un método prácticamente similar al del cálculo para climatización. Las condiciones climáticas más desfavorables se dan a las 7:00, y los meses en los que vamos a calcular esta carga son octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo, abril y mayo. En este caso, al ser muchos meses daremos sólo el resultado global.

Las condiciones que queremos tener en el interior de la vivienda son las siguientes:

$$T_i = 22 \text{ °C}$$

$$HR (\%) = 50\%$$

A continuación procedemos al cálculo de la carga térmica de calefacción pero menos detenidamente ya que es muy parecido al de climatización:

2.4.1. Cargas externas.

2.4.1.1. Cargas a través de paredes y techos.

En este caso no hay que tener en cuenta una variación de temperatura equivalente, sólo tenemos en cuenta la transmitancia, el área, la temperatura exterior y la temperatura mínima inferior.

$$Q_{trans} = U \cdot A \cdot \Delta t = U \cdot A \cdot (T_{sL} - T_{ext})$$

2.4.1.2. Cargas por ventilación.

El procedimiento usado es el mismo que para climatización. Tomando para la carga latente valores medios de relación de humedad por no poseer datos de los valores más restrictivos.

2.4.2.3. Cargas por infiltraciones.

El procedimiento es el mismo que para climatización.

2.4.2. Cargas internas.

En el caso de calefacción hay que tener cuidado con las cargas internas porque no son pérdidas como las cargas exteriores si no que son ganancias y ayudan a mantener la temperatura del local.

2.4.2.1. Ocupantes.

Como se busca la situación más desfavorable, vamos a suponer que hay al menos una persona en cada vivienda en el momento de máxima necesidad. Como estamos haciendo el cálculo para tres viviendas, multiplicaríamos la carga, tanto latente como sensible, que produce cada persona, por tres, y nos saldría la carga aportada por ocupante cada mes.

2.4.2.2. Iluminación.

El procedimiento es el mismo que para climatización, aplicando un factor para tener en cuenta que buscamos la situación más desfavorable. Este factor que usamos será del 20%.

2.4.2.3. Equipos eléctricos.

Esta carga será igual que en climatización, ya que los equipos antes mencionados se usan tanto en verano como en invierno.

2.4.2.4. Coeficiente de seguridad.

Para calefacción se aconseja el uso de un coeficiente de seguridad del 10%.

2.4.2.5. Resultados cargas térmicas calefacción.

Meses	$Q_{\text{calefacción}}(\text{W})$
Enero	$1,142 \times 10^4$
Febrero	$9,514 \times 10^3$
Marzo	$8,741 \times 10^3$
Abril	$7,794 \times 10^3$
Mayo	$5,662 \times 10^3$
Octubre	$4,712 \times 10^3$
Noviembre	$7,883 \times 10^3$
Diciembre	$8,690 \times 10^3$

Tabla 2.16. Cargas térmicas de calefacción. (Obtenido mediante el programa mathcad).



CAPÍTULO 3

PÉRDIDAS EN EL COLECTOR

3.1. Introducción.

En este proyecto vamos a analizar un método alternativo al que se hace normalmente para calcular las pérdidas en el colector. El método que se suele usar es utilizar la curva de rendimiento que te da el fabricante, esta curva, aunque se acerca bastante a valores reales, no tiene en cuenta algunos parámetros importantes como es la velocidad del viento.

El método que vamos a utilizar, es un estudio de las pérdidas en el colector simulando éste como si fuera un circuito térmico, es decir, a cada zona del colector asignarle una resistencia térmica y hacemos un estudio de cuánto calor se pierde por cada rama.

Utilizando este método de pérdidas tenemos que tener en cuenta una serie de parámetros muy importantes:

- Temperatura de proceso: es muy importante la temperatura a la que entre el agua en los colectores, porque cuanto mayor sea la temperatura, mayor serán las pérdidas que se produzcan. Por lo tanto es un dato muy importante a tener en cuenta a la hora de hallar las pérdidas.
- Radiación solar: la función principal del colector es aprovechar la radiación proveniente del sol, ésta se aprovecha calentando la placa absorbidora. Pero cuanto mayor sea esta temperatura mayores pérdidas habrá en el colector.
- Dirección y velocidad del viento: este es uno de los motivos por el que hacemos un estudio de las pérdidas en el colector mediante resistencias térmicas, ya que la curva de normalización, no suele tener en cuenta las pérdidas por viento, además en este proyecto tenemos en cuenta la velocidad y dirección del viento que se tiene en Albacete, lugar donde estamos realizando la instalación solar.
- Espesor y calidad del aislamiento: un aumento en la calidad y en el espesor del aislamiento disminuirían las pérdidas, ya que se aumentaría la resistencia térmica del aislante.
- Características ópticas del absorbedor: son necesarias para evaluar las pérdidas, pero es un dato que te da el fabricante y que se puede variar sólo cambiando de placa.
- Cubierta transparente: una pérdida importante que se produce también, son las pérdidas ópticas, este dato te lo da el fabricante y lo tendremos en cuenta a la hora de calcular las pérdidas.

3.2. Modelización de colectores en régimen transitorio.

Para poder realizar un estudio de pérdidas tenemos que hacer un modelo del colector solar. La modelización está basada en realizar un balance de energía no estacionario sobre el colector de forma que se determinan en detalle las pérdidas térmicas. Los procesos de transferencia de calor contemplados en el modelo son (Ilustración 3.1): radiación existente entre la superficie acristalada y el cielo, convección forzada externa sobre el cristal de los colectores, conductividad en el cristal, convección natural en la capa de aire interna entre el cristal y el absorbedor, radiación entre el absorbedor y el cristal debida a la diferencia de temperaturas existentes entre ambos, conductividad en el aislante, conductividad en el tubo de cobre, convección forzada en la parte trasera de los colectores.

Las resistencias que se contemplan en una primera aproximación son las típicas de conducción y convección para superficies planas, sin embargo se encuentra que la solución a la que se llega no describe el comportamiento del colector de nuestra instalación. Para ello, se utilizan unas temperaturas aproximadas para hallar algunas de estas resistencias en primera aproximación, mientras que otras, al depender de parámetros que varían con el mes de uso, tendrán que resolverse mediante un sistema de ecuaciones, dando como valor inicial uno aproximado.

En este PFC no se analiza el comportamiento de los colectores en régimen transitorio. Aunque en el artículo utilizado como referencia se usa un modelo válido para régimen no estacionario, aquí no lo empleamos, sino que basándonos en el modelo más complejo disponible se elabora un modelo más simplificado como se describe en el apartado siguiente

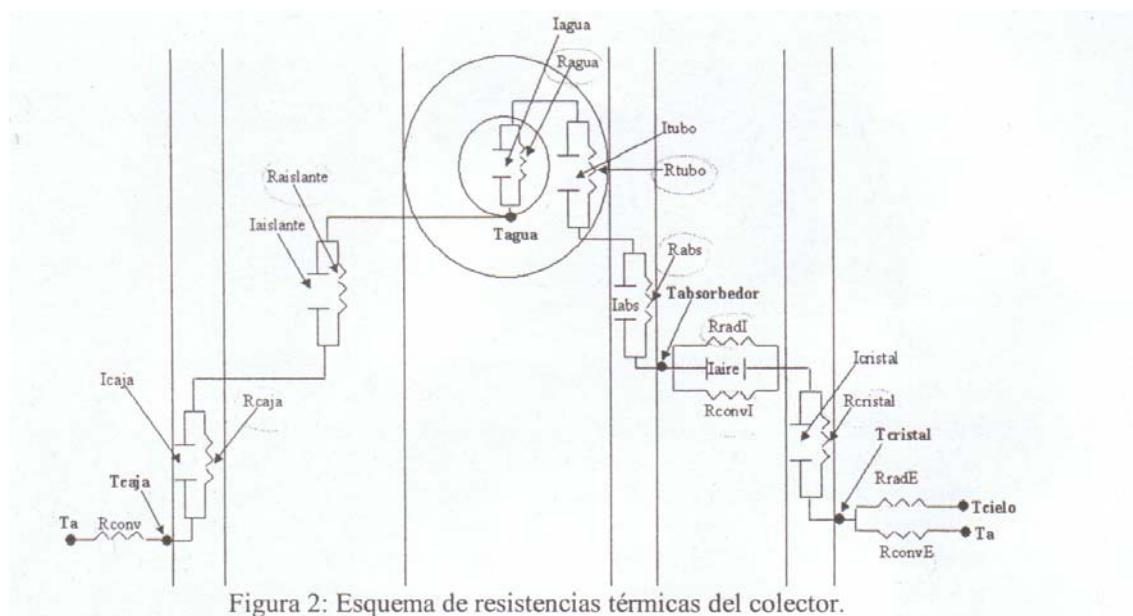


Ilustración 3.1. Esquema de resistencias térmicas del colector. (Fuente: Departamento de Ingeniería Térmica).

Aparte de la modelización del colector, necesitamos construir un esquema de resistencias térmicas para poder calcular los flujos de calor en el colector, teniendo en cuenta que la rama de la izquierda de la Ilustración 3.1 la vamos a dividir en dos, una que será el calor útil, y otra que será el calor perdido por la parte posterior del intercambiador; de esta forma se simplifica la diferencia entre el calor útil y el calor perdido por abajo y no es una suposición que pueda dar lugar a errores de consideración.

3.3. Esquema de resistencias térmicas.

El esquema de resistencias siguiente es el que vamos a usar para calcular las pérdidas. El cálculo de algunas resistencias lo haremos mediante unas correlaciones tomadas de una instalación experimental en la universidad Carlos III, dando en algunas de ellas un valor aproximado, que luego se hallará con la resolución del sistema de pérdidas. También usamos alguna correlación para el cálculo de alguna temperatura, y eso tendremos que tenerlo en cuenta a la hora de calcular las resistencias y los flujos de calor por las diferentes ramas.

Circuito térmico para el cálculo de pérdidas en el colector:

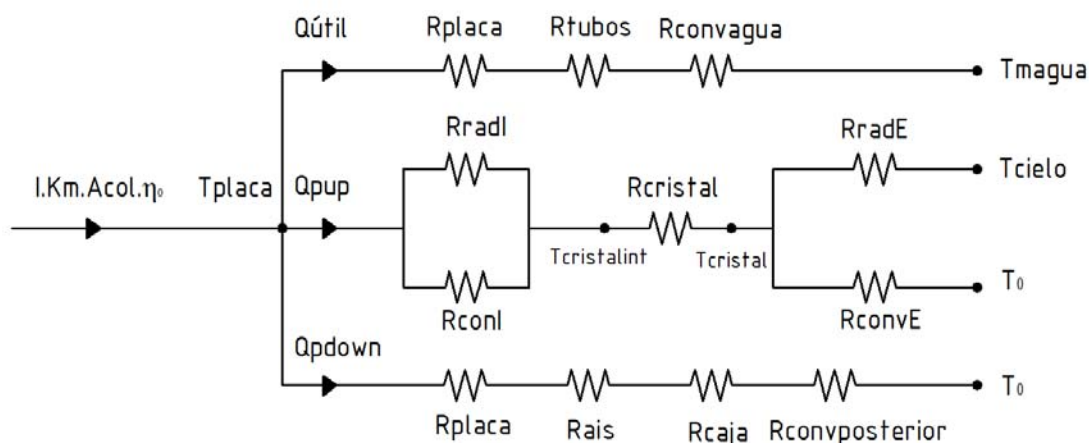


Ilustración 3.2. Circuito de resistencias térmicas. (Realizado en Autocad).

A continuación, vamos a explicar el método de resolución de cada resistencia y a explicar los diferentes parámetros que hemos tenido en cuenta a la hora de resolver el circuito. Vamos a explicar su método de cálculo para valores medios anuales para una instalación de ACS, pero la resolución sería la misma para valores mensuales o para otro tipo de instalación, solamente habría que variar los valores iniciales, si por ejemplo nuestra instalación también fuera para calefacción, o añadir datos mensuales, si estuviéramos haciendo un estudio de pérdidas mensual.

Vamos a explicar el circuito paso por paso, empezando por la izquierda e intentando seguir un orden, dependiendo de los valores de que dependa cada variable.

3.3.1. Radiación entrante.

La radiación que llega a la placa absorbidora es la siguiente:

$$I_{placa} = I_T \cdot k_m \cdot A_{col} \cdot \eta_0$$

Donde:

- I_T es la radiación media anual sobre una superficie horizontal (en W/m², en el caso de que fuera mensual, la de cada mes).
- k_m es el factor de corrección para superficies inclinadas. Representa el cociente entre la energía total incidente en un día sobre una superficie orientada hacia el ecuador e inclinada un determinado ángulo, y otra horizontal. (Fuente: CENSOLAR).
- A_{col} es el área del colector.
- η_0 es el rendimiento óptico del colector.

3.3.2. Temperatura de la placa.

Es la temperatura a la que se encuentra la placa, es un valor que inicialmente hay que suponer, ya que lo necesitamos para obtener valores iniciales de otros parámetros, y que hallaremos al resolver el conjunto total de ecuaciones. Es un valor complicado de analizar ya que depende de bastantes factores, tales como la radiación que le llegue en cada momento, los procesos que se estén utilizando (ACS, calefacción, climatización) y la temperatura de entrada y salida del líquido en los colectores. Por eso, a mi parecer, este parámetro es el más complicado del colector, ya que a su vez muchos de los demás parámetros también dependen de su valor.

3.3.3. Rama calor útil.

3.3.3.1. Resistencia de la placa absorbidora.

La resistencia de la placa absorbidora, al ser una transferencia de calor no lineal se calcula experimentalmente con un balance de energía en la placa entre la temperatura de la placa y la temperatura media del fluido que pasa por los tubos, obteniendo el valor:

$$R_{placa} = 0.012 \cdot \frac{K}{W}$$

3.3.3.2. Resistencia de los tubos.

El colector está formado por 9 tubos de cobre, con una longitud de 1.93 m cada tubo, con un diámetro exterior de 0.008 m y un espesor de 0.5 mm. Luego la resistencia térmica será:

$$R_{tubo} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k \cdot L_{tubo}} = \frac{\ln\left(\frac{\frac{8}{2} \cdot 10^{-3}}{\frac{7.5}{2} \cdot 10^{-3}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 389.6 \cdot 1.9} = 1.366 \cdot 10^{-5} \cdot K/W$$

Pero al haber 9 tubos en paralelo, la resistencia térmica total será el valor de la resistencia térmica de un tubo, entre el número de tubos:

$$R_{tubos} = \frac{R_{tubo}}{9} = 1.518 \cdot 10^{-6} \cdot K/W$$

3.3.3.3. Resistencia de la convección interior de los tubos.

Para el cálculo de esta resistencia tenemos que usar la correlación de Dittus-Boelter:

$$Nu_D = 0.023 \cdot Re_D^{4/5} \cdot Pr^{0.4}$$

Para el cálculo de esta resistencia, necesitamos conocer la temperatura media de la mezcla, para ello, orientándonos con la temperatura de la placa que hemos supuesto, suponemos también la temperatura de entrada al colector y hallamos la temperatura de salida mediante la curva de normalización. Aunque esto puede dar valores no muy aproximados para cada mes del año, no supone un error muy grande, por lo que suponemos el mismo valor medio anual para todos los meses.

El primer paso para obtener la resistencia sería calcular el número de Reynolds:

$$Re_D = \frac{4 \cdot \dot{m}}{\pi \cdot D \cdot \mu}$$

Teniendo en cuenta que al ser 9 tubos, tengo que dividir el caudal total entre el número de tubos, el valor de μ , ρ y k lo saco de los gráficos de refrigerante para la temperatura media del agua. En este caso, igual que anteriormente, aunque tengamos una temperatura del agua un poco diferente, el error producido es pequeño.

Por lo tanto, sabiendo que:

- El caudal de un tubo es $m_t = 4,407 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$
- El valor de $\mu = 2 \times 10^{-3} \text{ kg/m s}$
- El diámetro, dado anteriormente, $D_{\text{int}} = 7.5 \times 10^{-3} \text{ m}$

Con estos valores, obtenemos el valor del número de Reynold, y con el número de Prandtl, $Pr = 20$, ya podemos calcular Nu_D . Con este valor y con la conductividad térmica de la mezcla $k_{\text{mezcla}} = 0,44 \text{ W/mK}$, obtenemos:

$$h_D = \frac{Nu_D \cdot k_{\text{mezcla}}}{D_{\text{int}}}$$

Y con estos valores ya podemos calcular la resistencia térmica de convección interior de la forma:

$$R_{\text{convmezcla}} = \frac{1}{h_D \cdot \pi \cdot D_{\text{int}} \cdot L_{\text{tubo}}}$$

Teniendo en cuenta, que la longitud de los tubos es 1,92 m y que hay 9 tuberías en paralelo, la resistencia total será, la resistencia de un tubo, entre 9.

$$R_{T\text{convmezcla}} = 4,776 \cdot 10^{-3} \text{ K/W}$$

3.3.3.4. Resistencia rama útil.

Como ya tenemos todas las resistencias que componen la rama útil, podemos hallar la resistencia total de la rama útil como la suma de las resistencias halladas anteriormente, es decir, la resistencia de la placa absorbadora, de los tubos y de la convección en el interior de los tubos, sumándolas, la resistencia de la rama útil queda:

$$R_{\text{útil}} = 0,017 \cdot \text{K/W}$$

3.3.4. Rama de pérdidas de la parte inferior del colector.

3.3.4.1. Resistencia de la placa absorbadora.

El valor de la resistencia de la placa absorbadora lo dimos anteriormente, siendo su valor:

$$R_{placa} = 0.012 \cdot K/W$$

3.3.4.2. Resistencia del aislante.

Para calcular la resistencia térmica del aislante, necesitamos conocer su espesor, su área y su conductividad térmica (k); el espesor y el área lo obtenemos de la hoja de especificaciones del fabricante, y su conductividad térmica de tablas de propiedades, ya que según la hoja se trata de lana de roca, por lo tanto la resistencia térmica será:

$$R_{ais} = 0,579 \cdot K/W$$

3.3.4.3. Resistencia de la caja.

Para el cálculo de la resistencia de la caja también tenemos que obtener los datos de la hoja de especificaciones del fabricante, teniendo esta un valor de:

$$R_{caja} = 4,572 \cdot 10^{-6} \cdot K/W$$

3.3.4.4. Resistencia de convección de la parte posterior de la caja.

Para el cálculo de esta resistencia, necesitamos tomar las correlaciones correspondientes a la convección natural, ya que el viento en Albacete tiene dirección norte, por lo que al estar la parte posterior de los colectores dirigida hacia el norte, el viento no da sobre la superficie y hay que calcularla mediante convección natural.

Primero tenemos que hallar la temperatura de película aproximada, para saber el valor de las propiedades termofísicas del aire, ya que estas dependen de la temperatura. Usaremos las mismas para cada mes, la temperatura media por mes cambia, pero el error es muy pequeño, ya que la temperatura de la caja no la sabemos y estamos hallándola mediante una correlación experimental y, además, en un rango de aproximadamente 20°C, que es lo que cambia la temperatura media del aire, las diferencias son muy pequeñas.

Estos valores son todos mensuales, por lo que no pondré aquí los resultados, ya que está solucionado en la hoja de mathcad correspondiente. Sólo pondré los pasos necesarios para su cálculo:

- Hallamos la temperatura de la caja, teniendo en cuenta que T_0 es la temperatura media mensual del ambiente:

$$T_{\text{caja}} := 1.021 \cdot T_0 - 1.762 \cdot K$$

- Temperatura de película:

$$T_f := \frac{T_{\text{caja}} + T_0}{2}$$

- Número de Rayleigh:

$$Ra_{Lf} := \frac{g_{\text{conv}} \cdot \left[\beta_f \cdot (T_{\text{caja}} - T_0) \right] \cdot L_{\text{convpost}}^3}{v_f \cdot \alpha_f}$$

Sabiendo que:

$$g_{\text{conv}} := g \cdot \cos\left(51 \cdot \frac{\pi}{180}\right) \quad \beta_f := \frac{1}{T_f} \quad L_{\text{convpost}} := \frac{A_{\text{col}}}{\text{Perimetro}} \quad \text{Perimetro} := 6.12 \cdot m$$

$$v_f := 15.064 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{m^2}{s} \quad \alpha_f := 21.27 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{m^2}{s}$$

- Número de Nussel correspondiente para el flujo inferior de placa caliente:

$$Nu_{Lf} := 0.27 \cdot \left(Ra_{Lf} \right)^{\frac{1}{4}}$$

- Coeficiente de convección natural externa:

$$h_{Lf} := \frac{Nu_{Lf} \cdot k_f}{L_{\text{convpost}}}$$

- Resistencia de convección natural externa:

$$R_{\text{convpost}} := \frac{1}{h_{\text{Lf}} \cdot A_{\text{col}}}$$

3.3.5. Rama de pérdidas de la parte superior del colector.

Para el cálculo de las resistencias en esta parte, vamos a seguir un orden diferente, ya que por ejemplo, las resistencias de convección interior y de radiación interior dependen de la temperatura interior del cristal, y esta temperatura no podemos hallarla directamente con la resistencia del cristal y la temperatura del cristal, ya que esta última es una aproximación para poder hallar la radiación de convección exterior. Por lo tanto, para hallar las radiaciones interiores tendremos que obtener la temperatura del cristal interior mediante las radiaciones exteriores. Más adelante explicaremos el método para calcular la temperatura interior del cristal.

3.3.5.1. Resistencia del cristal.

La resistencia térmica del cristal la calculamos mediante su espesor, su área y su conductividad térmica:

$$R_{\text{cristal}} = \frac{e_{\text{cristal}}}{k_{\text{cristal}} \cdot A_{\text{cristal}}} = 1,796 \cdot 10^{-3} \text{ K/W}$$

3.3.5.2. Resistencia de convección exterior.

Se trata de convección forzada, ya que se ve afectado el cristal por el viento. Primero tenemos que saber la velocidad media del viento cada mes y la dirección. La dirección más frecuente es dirección norte.

Mes	Velocidad viento (km/h)	Mes	Velocidad viento (km/h)
Enero	12,5	Julio	12,14
Febrero	13,129	Agosto	11,99
Marzo	14,07	Septiembre	11,06
Abril	12,85	Octubre	11,06
Mayo	12,52	Noviembre	10,33
Junio	12,32	Diciembre	11,11

Tabla 3.1. Velocidad del viento mensual en Albacete. (Fuente Meteored).

Por lo tanto, para el cálculo de la resistencia térmica tenemos que usar la correlación para flujo cruzado. Como los valores son mensuales, daremos el método de resolución paso a paso para dar los resultados:

- Obtención del número de Reynold, para ello necesito conocer las propiedades termofísicas del aire a la temperatura de película, correspondientes a la temperatura del cristal y la temperatura ambiente. Escogemos las mismas para todos los meses, ya que el error producido es muy pequeño:

$$Re_{PF} := \frac{\rho_{aire} \cdot v_{viento} \cdot L_{cristal}}{\mu_{aire}}$$

Sabiendo que:

$$T_{cristal} := \overrightarrow{(1.042 \cdot T_0 - 1.762 \cdot K)} \quad \rho_{aire} := 1.1614 \cdot \frac{kg}{m^3} \quad L_{cristal} := 1.930 \cdot m$$

$$\mu_{aire} := 184.6 \cdot 10^{-7} \cdot Pa \cdot s \quad Pr := 0.707 \quad k_{aire} := 26.3 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{W}{m \cdot K}$$

- Número de Nussel:

$$\text{Nu}_{\text{PF}} := 3.846 \cdot \text{Re}_{\text{PF}}^{0.325} \cdot \text{Pr}^{\frac{1}{3}}$$

- Coeficiente de convección forzada externa:

$$h_{\text{forzadaext}} := \frac{\text{Nu}_{\text{PF}} \cdot k_{\text{aire}}}{L_{\text{cristal}}}$$

- Resistencia de convección externa:

$$R_{\text{convcristal}} := \frac{1}{h_{\text{forzadaext}} \cdot A_{\text{cristal}}}$$

3.3.5.3. Resistencia de radiación exterior.

Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$R_{\text{radE}} = \frac{1}{\varepsilon_{\text{cristal}} \cdot \sigma \cdot \left[(T_{\text{cristal}})^2 + (T_{\text{cielo}})^2 \right] \cdot (T_{\text{cristal}} + T_{\text{cielo}})}$$

Sabiendo que:

$$\varepsilon_{\text{cristal}} := 0.2 \quad \sigma := 5.67 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \quad T_{\text{cielo}} := 0.037536 T_0^{\frac{1}{1.5}} \cdot \text{K} + 0.32 \cdot T_0$$

3.3.5.4. Temperatura del interior del cristal.

Para poder hallar las demás resistencias térmicas, necesito obtener un valor para la temperatura interior del cristal, pero como la temperatura del cristal es un valor aproximado, lo calculo teniendo en cuenta las resistencias de convección y radiación exteriores.

Llamando q_1 al calor que va por la rama de la resistencia de radiación exterior y q_2 al calor que va por la rama de convección exterior:

$$q_1 := \frac{T_{\text{cristal}} - T_{\text{cielo}}}{R_{\text{radE}}} \quad q_2 := \frac{T_{\text{cristal}} - T_0}{R_{\text{convcristal}}}$$

Podemos calcular la temperatura interior del cristal de la siguiente manera, teniendo en cuenta que este método es mucho más preciso que tener sólo en cuenta la temperatura del cristal y la resistencia térmica del mismo:

$$T_{\text{cristalint}} := (q_1 + q_2) \cdot R_{\text{cristal}} + T_{\text{crista}}$$

3.3.5.5. Radiación interior entre el cristal y la placa.

La calculamos con la siguiente fórmula, teniendo en cuenta, que en primera aproximación, vamos a tener un valor aproximado, ya que esta resistencia depende de la temperatura de la placa y de la temperatura del cristal interior. Por eso a la hora de calcular las pérdidas, tendremos un sistema de ecuaciones donde entrará la temperatura de la placa, la temperatura del interior del cristal y la resistencia de radiación interior. Por lo tanto, el valor calculado inicialmente sólo servirá como valor inicial para el sistema de ecuaciones:

$$R_{\text{radI}} := \frac{(\epsilon_{\text{cristal}} + \epsilon_{\text{placa}} - \epsilon_{\text{cristal}} \epsilon_{\text{placa}})}{\epsilon_{\text{cristal}} \epsilon_{\text{placa}} \cdot \sigma \cdot A_{\text{abs}} \cdot \left[\left[(T_{\text{placa}})^2 + (T_{\text{cristalint}})^2 \right] \cdot (T_{\text{placa}} + T_{\text{cristalint}}) \right]}$$

Sabiendo que:

$$\epsilon_{\text{placa}} := 0.05 \quad A_{\text{abs}} := 1.879 \cdot \text{m}^2 \quad \epsilon_{\text{cristal}} := 0.2$$

3.3.5.6. Radiación de convección interior entre la placa y el cristal.

Entre la placa absorbedor y la parte interior del cristal tenemos además de radiación, convección natural. Al igual que con la radiación, la resistencia de convección natural interna se calcula con las temperatura de la placa y del interior del cristal. Como las temperaturas de esas zonas por ahora sólo podemos suponerlas, el cálculo de esta resistencia entrará en el sistema de ecuaciones final, para dar el valor correspondiente a cada valor de la temperatura.

A continuación damos el método para hallar dicha resistencia:

- Cálculo de la temperatura de película aproximada, con los que vamos a hallar las propiedades termofísicas del aire. Como en apartados anteriores cogemos los mismos valores para cada mes, ya que el error producido es bajo:

$$T_m := \frac{T_{\text{cristalint}} + T_{\text{placa}}}{2}$$

- Cálculo del número de Rayleigh, teniendo en cuenta que la razón por la que entra en el sistema de ecuaciones, es porque depende de las dos temperaturas que suponemos, como vemos en la fórmula:

$$Ra_L := \frac{g \cdot [\beta \cdot (T_{\text{placa}} - T_{\text{cristalint}})] \cdot L_{\text{conv}}^3}{\nu_m \cdot \alpha_m}$$

Sabiendo que:

$$L_{\text{conv}} := 31 \cdot 10^{-3} \cdot \text{m} \quad \nu_m := 16.414 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad \alpha_m := 23.557 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad \beta := \frac{1}{T_m}$$

$$k_{\text{conv}} := 26.828 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

- Número de Nussel:

$$Nu_I := 4.328 \cdot 10^{-10} \cdot Ra_L^2 - 1.478 \cdot 10^{-6} \cdot Ra_L + 1.001$$

- Coeficiente de convección natural interior:

$$h_i := \frac{Nu_I \cdot k_{\text{conv}}}{L_{\text{conv}}}$$

- Resistencia térmica de convección natural interior:

$$R_{\text{convnaturalint}} = \frac{1}{h_i \cdot A_{\text{abs}}}$$

3.4. Método de cálculo de las pérdidas en el colector.

El método empleado para calcular las pérdidas es un sistema de ecuaciones de 7 ecuaciones con 7 incógnitas para así conseguir con la mayor exactitud posible las pérdidas que se producen en el colector. Para ello, vamos a utilizar las resistencias térmicas halladas anteriormente y una serie de suposiciones que luego serán corregidas mediante el sistema de ecuaciones.

Para poder resolver el sistema, al no tener una instalación de referencia donde tomar la temperatura de entrada y salida del agua, tenemos que utilizar los programas de la instalación total para ver qué salida y entrada de agua tenemos en el colector. Para ello, tenemos que suponer unas pérdidas iniciales en el programa, podemos tener en cuenta la curva de normalización para esos valores iniciales. Con esas pérdidas iniciales, el programa nos da una temperatura de entrada y salida del colector. Introducimos ahora esa temperatura en nuestro programa de pérdidas, y nos da otras pérdidas de calor diferentes, y así iteramos hasta que la diferencia que nos dé sea la mínima posible entre un programa y otro.

La resolución tiene que ser de esta forma, ya que sería necesario conocer datos experimentales para calcular las pérdidas, debido a que están dependen en gran medida de la temperatura de entrada de la mezcla en el colector, de la temperatura de salida de la mezcla del colector y de la temperatura de la placa, y estos valores son desconocidos, por eso intentamos dar los valores más reales posibles para que los datos obtenidos estén lo más cercano posible a la realidad.

3.5. Sistema de ecuaciones e incógnitas.

En este apartado vamos a explicar las ecuaciones usadas para el cálculo de las pérdidas. Los resultados de las pérdidas los daremos en el estudio de cada instalación, ya que dependiendo de la temperatura de entrada del agua en el colector, las pérdidas tendrán un valor diferente.

3.5.1. Incógnitas.

Las incógnitas que vamos a hallar en el sistema son las siguientes:

- $Q_{\text{útil}}$: es el calor aprovechado por el colector, es decir, el que se usa para calentar la mezcla de agua y anticongelante.
- Q_{pdown} : calor perdido por la parte de abajo del colector
- Q_{pup} : calor perdido por la parte superior del colector.
- T_{placa} : ya que inicialmente hemos tenido que suponerla, y tiene un papel muy importante en el cálculo de las pérdidas en el colector, además de en el calor útil del colector.
- $T_{\text{cristalint}}$: la temperatura interior del cristal también es un valor obtenido inicialmente mediante suposiciones, y tiene importancia a la hora de calcular el calor perdido por la parte superior del colector.
- R_{convI} : la resistencia de convección interior depende de la temperatura de la placa y de la temperatura del interior del cristal, luego para poder calcular su valor tiene que ir en el sistema de ecuaciones.
- R_{radI} : la resistencia de radiación interior al igual que la de convección interior depende de las temperaturas de la placa y del cristal interior, luego tenemos que obtener su valor mediante el sistema de ecuaciones.

3.5.2. Ecuaciones.

- Balance de energía en el colector: de la radiación que llega a la placa absorbidora, una parte es utilizada para calentar el fluido que va por los colectores ($Q_{\text{útil}}$) y otra se pierde como calor perdido por la parte superior del colector (Q_{pup}) y otra como calor perdido por la parte inferior del colector (Q_{pdown}).

$$I \cdot k_m \cdot A_{\text{col}} \cdot \eta_0 = Q_{\text{útil}} + Q_{\text{pup}} + Q_{\text{pdown}}$$

- Pérdidas por la parte inferior del colector:

$$Q_{\text{pdown}} = \frac{T_{\text{placa}} - T_0}{R_{\text{placa}} + R_{\text{ais}} + R_{\text{caja}} + R_{\text{convextcaja}}}$$

- Pérdidas en la parte superior del colector: este apartado es más complicado, ya que obtengo su valor a su vez de otras dos ecuaciones.
 - Primero tengo la siguiente ecuación, que es la correspondiente al calor perdido por las resistencias de convección y radiación interior:

$$Q_{pup} = \frac{T_{placa} - T_{cristal\ int}}{\frac{R_{radI} \cdot R_{convI}}{R_{radI} + R_{convI}}}$$

- Y también puedo obtener el calor perdido por la parte superior, como el calor que va por las resistencias de radiación y convección exteriores. Teniendo en cuenta, que la temperatura del cristal no la conocemos, y tenemos que expresar esa temperatura con otros parámetros:

$$T_{cristal} = T_{cristal\ int} - Q_{pup} \cdot R_{cristal}$$

$$Q_{pup} = \frac{T_{cristal\ int} - Q_{pup} \cdot R_{cristal} - T_{cielo}}{R_{radE}} + \frac{T_{cristal\ int} - Q_{pup} \cdot R_{cristal} - T_{cielo}}{R_{convE}}$$

- Igualando las dos ecuaciones, obtengo el calor total perdido por la parte superior del colector:

$$Q_{pup} = \frac{R_{convE} \cdot T_{cristal\ int} - \left(\frac{R_{radI} \cdot R_{convI}}{R_{radI} + R_{convI}} \right) \cdot (T_{placa} - T_{cristal\ int}) + R_{radE} \cdot T_{cristal\ int} - R_{convE} \cdot T_{cielo} - R_{radE} \cdot T_0}{R_{cristal} \cdot (R_{convE} + R_{radE})}$$

- Calor útil: está definido por dos ecuaciones, la primera es:

$$Q_{\text{útil}} = m_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_{co} - T_{ci})$$

- Calor útil, la segunda ecuación que lo define es:

$$Q_{\text{útil}} = \frac{T_{placa} - \frac{T_{ci} + T_{co}}{2}}{R_{\text{útil}}}$$

- Resistencia de convección interior, como lo que depende de las temperaturas es el número de Rayleigh, tiene que estar en el sistema todos los parámetros despejados:

$$R_{convI} = \frac{1}{A_{abs} \cdot \frac{k_{conv}}{L_{conv}}} \left[4,328 \cdot 10^{-10} \cdot \left(\frac{g \cdot \beta \cdot (T_{placa} - T_{cristalint}) \cdot L_{conv}^3}{\nu_m \cdot \alpha_m} \right)^2 \right] - 1,478 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{g \cdot \beta \cdot (T_{placa} - T_{cristalint}) \cdot L_{conv}^3}{\nu_m \cdot \alpha_m} + 1,001$$

- Resistencia de radiación interior:

$$R_{radI} = \frac{\varepsilon_{cristal} + \varepsilon_{placa} - \varepsilon_{cristal} \cdot \varepsilon_{placa}}{\varepsilon_{cristal} \cdot \varepsilon_{placa} \cdot \sigma \cdot A_{abs} \cdot \left[(T_{placa})^2 + (T_{cristalint})^2 \right] \cdot (T_{placa} + T_{cristalint})}$$

3.6. Utilización pérdidas.

Con las ecuaciones anteriores, y teniendo en cuenta lo comentado anteriormente de que tenemos que obtener una temperatura de entrada y salida del colector, ya podemos calcular las pérdidas para cada tipo de instalación, ya que las pérdidas serán diferentes según se use la instalación sólo para agua caliente sanitaria, para ACS y para calefacción o para ACS y climatización. En cada apartado diré las pérdidas asociadas a cada tipo de uso de la instalación.



CAPÍTULO 4

DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

4.1. Introducción.

En este apartado vamos a explicar el funcionamiento básico de la instalación y la descripción de los componentes que contiene. Como tenemos una instalación que sirve tanto para ACS, como para calefacción y climatización habrá muchos componentes comunes y otros que sean sólo para cada una de las aplicaciones.

Primero realizaremos una descripción del funcionamiento de la instalación y de sus partes, para después explicar sus componentes uno a uno.

El dimensionado de los componentes lo haremos más adelante, teniendo en cuenta los datos de temperatura y consumo de nuestra instalación.

A continuación representamos un esquema básico de una instalación para ACS y climatización, el esquema para calefacción sería igual pero con un sistema de suelo radiante en lugar del generador de la máquina de absorción.

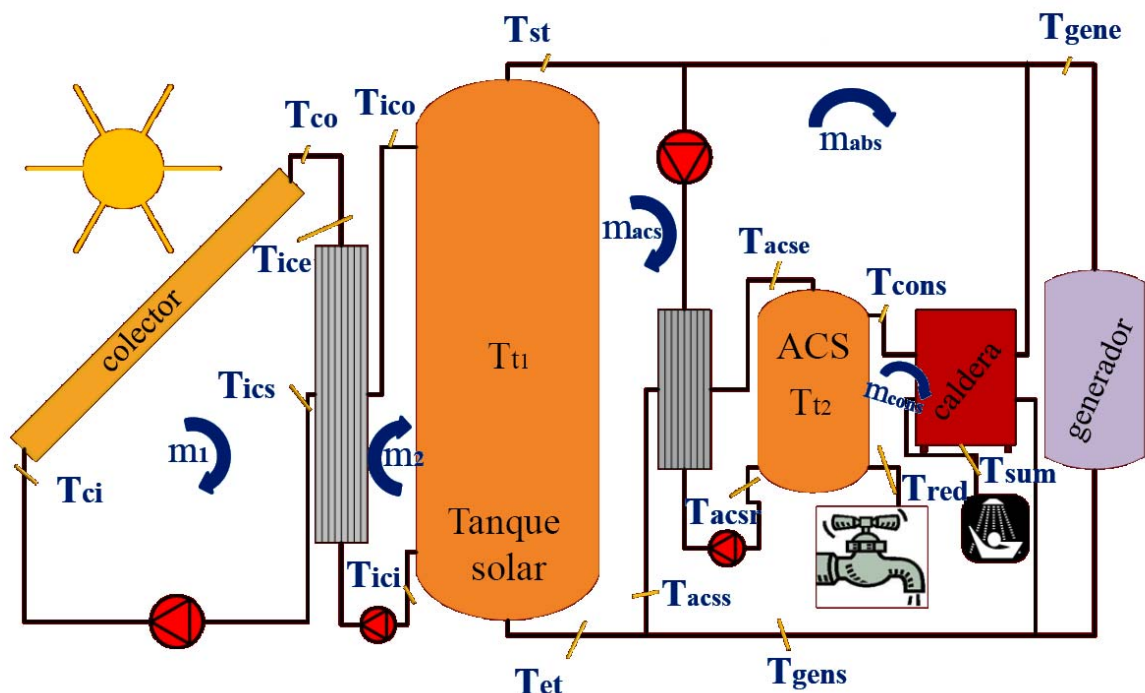


Ilustración 4.1. Esquema de una instalación solar para ACS y climatización. (Fuente: Departamento de Ingeniería Térmica).

4.2. Descripción general de una instalación solar.

La organización de los componentes en conjuntos funcionales o sistemas de una instalación y las interconexiones entre ellos, constituyen una pieza fundamental en el análisis y funcionamiento de una instalación solar.

También son muy importantes los criterios fundamentales de funcionamiento de la instalación, que también estudiaremos, tales como el principio de circulación del fluido de trabajo, mecanismos de transferencias de calor, etc.

4.2.1. Sistemas y circuitos de una instalación solar.

El sistema básico de una instalación solar térmica consta de los siguientes **sistemas**:

- Sistema de captación: transforma la radiación solar incidente en energía térmica aumentando la temperatura del fluido de trabajo. Está compuesto por los colectores solares
- Sistema de intercambio: realiza la transferencia de calor entre el fluido de trabajo que circula por el circuito primario y el agua que circula por el circuito secundario. Está formado por el intercambiador de calor del primario. También tenemos otro sistema de intercambio, en el caso de nuestra instalación, entre el tanque solar y el tanque de ACS.
- Sistema de acumulación: almacena la energía térmica en forma de agua caliente. Tendremos dos tanques, el tanque solar y el de ACS.
- Sistema de transporte: hace circular el fluido de trabajo por el circuito primario y el agua por el circuito secundario, terciario y de consumo.
- Sistema de control: encargado de asegurar el correcto funcionamiento de la instalación solar.
- Sistema de energía de apoyo: complementa el aporte solar suministrando la energía adicional necesaria para cubrir la demanda prevista.
- Sistema de generación: es el encargado de alimentar la máquina de absorción para su funcionamiento por medio de la instalación solar.
- Sistema de calefacción: es el encargado de proporcionar calefacción mediante un sistema de suelo radiante.

Además la instalación solar térmica consta de los siguientes **circuitos**:

- Circuito primario: formado por los captadores y las tuberías que los unen, en el que el circuito de trabajo recoge la energía térmica producida en los captadores y la transfiere al circuito secundario a través de un intercambiador de calor.

- Circuito secundario: en el que se recoge la energía captada en el circuito primario a través de un sistema de intercambio y se transfiere al sistema de acumulación.
- Circuito terciario: se recoge la energía del acumulador proporcionada por el circuito secundario y se usa para alimentar al circuito de consumo, al sistema de generación para climatización y al sistema de suelo radiante para calefacción.
- Circuito de consumo: formado por la red de alimentación de agua fría y un tanque solar al que se proporciona energía desde el circuito terciario mediante un intercambiador de calor.

4.2.3. Criterios funcionales.

Hay varios criterios funcionales que condicionan el funcionamiento de una instalación solar. Estos criterios son los siguientes:

- Principio de circulación del fluido de trabajo en el circuito de captación.
- Mecanismos de transferencia de calor desde el circuito de captación solar al circuito de consumo.
- Tipo de sistema de apoyo.
- Forma de acoplamiento del sistema de apoyo en la instalación solar.

4.2.3.1. Principio de circulación.

Se refiere al mecanismo mediante el cual se produce el movimiento del fluido que circula en el circuito de captadores. Debe distinguirse entre circulación forzada o por bomba y la circulación natural o por termosifón.

En nuestra instalación utilizaremos circulación forzada, de la que haremos una descripción a continuación:

Circulación forzada

Utiliza una bomba de circulación para hacer circular el fluido de trabajo a través de los captadores solares por lo que la transferencia de calor al fluido tiene lugar por convección forzada.

La instalación dispone de un sistema de control, normalmente de tipo diferencial, que activa o desactiva la bomba dependiendo de la diferencia de temperaturas entre dos sondas. Habitualmente una de estas sondas se encuentra colocada a la salida de los captadores solares y la otra se instala en la parte inferior del acumulador. Esta estrategia de control es la más utilizada, si bien se pueden emplear otras en función de la configuración de la instalación.

En las instalaciones de circulación forzada es necesario, por tanto, un consumo eléctrico auxiliar para disponer de la energía térmica y, por ello, se debe garantizar que la ganancia térmica no esté hipotecada por un consumo eléctrico significativo. De ahí la necesidad de optimizar la potencia eléctrica instalada y por otro lado, las horas de funcionamiento en relación con la energía útil obtenida.

4.2.3.2. Sistema de transferencia de calor.

Este criterio define cómo se produce la transferencia de calor desde el fluido de trabajo de captadores al agua caliente destinada al consumo. Atendiendo a que tengan intercambiador que participe en este proceso o no, puede distinguirse entre instalaciones indirectas y directas.

En nuestra instalación vamos a usar instalaciones directas por el uso de anticongelantes en el fluido caloportador, ya que se alcanzan temperaturas por debajo de 0°C.

Instalaciones indirectas

En estas instalaciones el fluido que circula por los captadores solares no es agua destinada al consumo. Incorporan uno o varios intercambiadores que separan ambos fluidos, estando situados los intercambiadores en el circuito primario, para que la mezcla de fluidos no afecte a las instalaciones del circuito terciario y entre el circuito terciario y el circuito de consumo, para separar el agua que pasa por los sistemas de calefacción y climatización del agua de consumo. Se caracterizan porque:

- Permiten utilizar una mezcla de agua con anticongelante como fluido de trabajo en el circuito primario que actúa como sistema de protección frente a heladas en la instalación.
- Evitan el contacto directo del agua de consumo con los captadores, con lo que se eliminan las incrustaciones calcáreas en los mismos y disminuye el riesgo de corrosión en el circuito primario.
- La instalación puede funcionar con presiones de trabajo distintas en cada uno de los circuitos.

4.2.3.3. Tipo de sistema de apoyo.

En este criterio se considera el diseño y funcionamiento del sistema convencional de preparación de agua caliente que acoplado a la instalación solar termina de preparar el agua caliente para su uso.

Los sistemas de apoyo pueden clasificarse en sistemas instantáneos y de acumulación, así como todo el rango de sistemas seminstantáneos o de semiacumulación, cuyas características pueden analizarse en cualquier tratado de instalaciones térmicas convencionales.

Los sistemas de apoyo también pueden clasificarse por el tipo de energía que utilizan, ya sean combustibles, electricidad u otras renovables.

Los sistemas de apoyo también pueden clasificarse como centralizados o individuales en función del lugar donde se produce la transformación de energía de apoyo en energía térmica final. En nuestra instalación vamos a utilizar un sistema centralizado.

Sistemas centralizados.

Los sistemas de apoyo centralizados utilizan instalaciones comunes para un conjunto de usuarios o de puntos de consumo y se encargan de preparar el agua caliente que posteriormente se distribuye. Los sistemas de apoyo centralizados sólo son acoplables a instalaciones solares centralizadas.

4.2.3.4. Forma de acoplamiento del sistema de apoyo.

Además del tipo de sistema de energía de apoyo empleado, la forma de acoplamiento entre la instalación solar y el sistema de apoyo influye en el funcionamiento global de la instalación de producción de agua caliente sanitaria.

El sistema de apoyo se distingue entre acoplamiento en serie y acoplamiento en paralelo. En este proyecto se van a utilizar las dos configuraciones, en serie para el suministro de agua caliente sanitaria y en paralelo para suministrar el agua caliente a los sistemas de calefacción y climatización.

Acoplamiento en serie.

Mediante este conexionado se consigue que el agua destinada a consumo sea calentada inicialmente por la instalación solar y, en segundo lugar sea el sistema de apoyo quien se encarga, cuando sea necesario, de realizar el calentamiento final hasta la temperatura deseada.

En nuestro caso, se sitúa en serie con el tanque de ACS, calentando el agua que proviene del tanque hasta la temperatura de consumo. En los meses de verano, el agua para consumo no hará uso de este sistema de apoyo ya que se consigue la temperatura deseada.

Acoplamiento en paralelo.

El abastecimiento de agua caliente se realiza, opcionalmente, desde el sistema de apoyo o desde la instalación solar. Para dar el servicio adecuado, esta forma de acoplamiento requiere que el acumulador solar disponga de la temperatura de preparación mínima establecida. Cuando la temperatura del acumulador solar desciende del valor de consigna asignado, la conexión debe conmutarse al sistema de apoyo. En este tipo de acoplamiento resulta necesario manipular, manual o automáticamente, la conexión de ambos sistemas.

4.3. Descripción de los componentes de una instalación solar.

A continuación vamos a realizar una descripción de los componentes más importantes de nuestra instalación solar, válida para todas las aplicaciones del proyecto (ACS, calefacción y climatización), ya que estas aplicaciones tienen muchos elementos comunes. Los que sean exclusivos de cada una de ellas los comentaremos en el apartado correspondiente.

4.3.1. Captador solar plano.

El captador solar es un intercambiador de calor en el que la radiación solar se transforma en energía térmica aumentando la temperatura del fluido que circula a través de él. Además también se calienta el conjunto del captador.

Existen diversos tipos de captadores solares: planos con diferentes variantes (de vacío, CPC, etc.), cilíndricos parabólicos, etc. En nuestra instalación vamos a utilizar el captador solar plano.

El funcionamiento del colector, ya lo indicamos detenidamente en el apartado de pérdidas en el colector, donde indicamos el cálculo del calor útil, y el procedimiento para el cálculo de las pérdidas por la parte superior e inferior del captador. Aquí vamos a dar un breve resumen de su funcionamiento:

4.3.1.2. Principio de funcionamiento.

La radiación solar, de longitud de onda corta ($0,2 - 3 \text{ mm}$), que atraviesa la cubierta transparente e incide sobre el absorbedor aumenta la temperatura de este último y de todos los elementos de su entorno (fluido de trabajo, cristal, etc.). El absorbedor al calentarse, emite radiación de onda larga ($7 - 14 \text{ mm}$) que no puede salir al exterior, debido a que la cubierta transparente es opaca frente a esa radiación infrarroja de onda larga. Este fenómeno de selectividad transmisiva es el responsable de que se produzca el denominado efecto invernadero en el captador solar, es decir, que la radiación solar entra en su mayor parte en el dispositivo y la radiación infrarroja que se genera, no puede salir.

La transferencia de calor por conducción y convección que tiene lugar desde el absorbedor al fluido de trabajo consiste en aumentar la energía interna del fluido; la circulación de éste produce la evacuación de la energía generada y la disminución de la temperatura del absorbedor. Esta disminución de la temperatura del absorbedor reduce las pérdidas térmicas por radiación, convección y conducción del conjunto que se mantienen en niveles razonables.

La cubierta transparente disminuye las pérdidas por convección ya que evita el contacto directo del absorbedor con el aire ambiente. Las pérdidas por radiación disminuyen a medida que la cubierta presenta mayor opacidad frente a la radiación emitida por el absorbedor. Con objeto de minimizar las pérdidas térmicas por conducción a través de los laterales y la parte posterior de la carcasa, se coloca material aislante en los laterales y parte posterior del absorbedor.

Las pérdidas térmicas por convección y radiación en un captador plano son normalmente las más importantes, y se producen en un porcentaje elevado por la cara anterior (dirigida a la radiación solar) del captador.

4.3.1.3. Componentes del captador solar plano.

A continuación se muestran los principales componentes del captador.

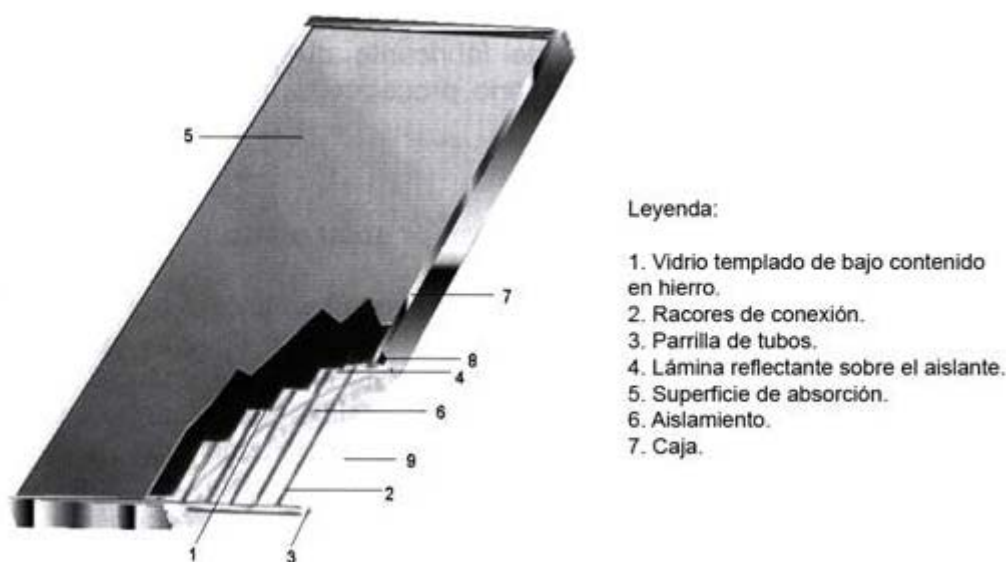


Ilustración 4.2. Esquema de un colector solar plano. (Fuente: SODEAN).

Cubierta transparente:

Es un elemento plano de material transparente a la radiación solar que cumple los siguientes objetivos:

- Reducir las pérdidas térmicas del absorbidora por convección. La cámara de aire existente entre el absorbedor y la cubierta reduce las pérdidas por convección al evitar el contacto directo del absorbedor con el ambiente exterior.
- Reducir las pérdidas térmicas del absorbedor por radiación. Para ello además de permitir que la radiación solar atraviese la cubierta, debe conseguir que la radiación emitida por el absorbedor no salga al exterior.

- Asegurar, conjuntamente con la carcasa, el cierre del captador y proteger el absorbedor frente a los agentes externos.
- Asegurar la estanqueidad del colector al agua y al aire, en unión con la carcasa y las juntas.

Las cubiertas transparentes deben tener las características de resistencia y durabilidad necesarias para que funcione a lo largo de su vida útil que, de hecho, es muy elevada cuando se trata de vidrios; deben considerarse en el diseño la resistencia al viento, granizo, lluvia, radiación ultravioleta, etc. Habitualmente se utilizan cubiertas de vidrio mucho más que las cubiertas de plástico.

Es importante a la hora de elegir la cubierta de vidrio que sea templado de bajo contenido en hierro.

Absorbedor:

Es el componente donde se produce la conversión de la radiación solar en energía térmica. Consiste en una superficie plana constituida por una lámina o varias aletas metálicas adheridas a un circuito hidráulico a través del cual circula el fluido de trabajo para evacuar la energía captada.

Las características ópticas del absorbedor (reflectancia, absorbancia y emisividad) tienen una gran influencia en el rendimiento de conversión de la radiación solar incidente en energía térmica debido a que afectan directamente a las ganancias y pérdidas por radiación del captador solar.

Los diseños típicos suelen ser, absorbedor en forma de parrilla de tubos y absorbedor tipo serpiente. En nuestra instalación vamos a usar el absorbedor en forma de parrilla de tubos.

- Absorbedor en forma de parrilla de tubos: el absorbedor está constituido por varias tuberías paralelas conectadas a dos colectores (conductos de distribución) de mayor diámetro formando la denominada parrilla de tubos.

Aislamiento:

Se coloca en los laterales y en el fondo de la carcasa para reducir las pérdidas térmicas por conducción. Debe poseer las siguientes características:

- Buen comportamiento con la temperatura.
- Bajo desprendimiento de vapores por efecto de un elevado calentamiento.
- Homogeneidad en sus propiedades frente a la humedad.

Carcasa:

Junto con la cubierta, constituye el contenedor del resto de componentes del captador, los protege de la intemperie y da rigidez al conjunto.

Debe cumplir las siguientes características:

- Resistencia mecánica suficiente para soportar tanto las condiciones de montaje como su uso.
- Buen comportamiento del material frente al ambiente exterior y a las condiciones de funcionamiento.
- Resistencia a las variaciones de temperatura, a la corrosión y a la inestabilidad química.
- Alta durabilidad.
- Peso lo más bajo posible para facilitar el montaje y disminuir las cargas sobre las cubiertas sobre las que se debe montar.

4.3.2. Fluido caloportador.

Está compuesto por una mezcla de agua y anticongelante, ya que en la situación donde está situada nuestra instalación se alcanzan temperaturas inferiores a 0°C.

Es el encargado de absorber la radiación en forma de calor procedente del absorbedor.

El usado en esta instalación es propilenglicol.

Las características más importantes del propilenglicol son las siguientes:

- Muy baja toxicidad.
- Son muy viscosos.
- Densidad similar a la del agua.
- Inodoro e incoloro.
- Alto punto de ebullición.
- Totalmente miscible en agua.

4.3.3. Intercambiador de calor.

Son necesarios en las instalaciones cuando se requiere de dos circuitos independientes. De esta forma, por ejemplo en los colectores se puede hacer uso de una mezcla de agua más anticongelante, y como en nuestro caso, para separar el agua de consumo del utilizado en los sistemas de climatización y calefacción.

Un intercambiador de calor es un aparato que facilita el intercambio de calor entre dos fluidos que se encuentran a temperaturas diferentes evitando que se mezclen entre sí.

Los parámetros que definen a un intercambiador de calor son básicamente el rendimiento y la eficacia del intercambiador.

Se entiende por rendimiento la relación entre la energía obtenida a la salida y la introducida en el intercambiador. Ésta no debe ser inferior al 95%.

La eficacia se define como la relación entre la potencia calorífica realmente intercambiada y la máxima que podría intercambiarse teóricamente. Su valor no debe ser inferior a 0,7.

Algunos tipos de intercambiadores de calor son los siguientes:

- Intercambiador de placas: es el más usado en este tipo de instalaciones. Consiste en una pila de placas de metal, corrugadas, que se mantienen unidas mediante presión en un bastidor y selladas por medio de la junta, de manera que se forman una serie de pasillos interconectados a través de los cuales se hace circular fluidos de trabajo, impulsados por bombas.
- Tubo doble: es el tipo más sencillo de intercambiador de calor. Está constituido por dos tubos concéntricos de diámetros diferentes. Uno de los fluidos fluye por el tubo de menor diámetro y el otro fluido fluye por el espacio anular entre los dos tubos. En este tipo de intercambiador son posibles dos configuraciones en cuanto a la dirección del flujo de los fluidos: contraflujo y flujo paralelo.
- Carcasa y tubo: Es el intercambiador más ampliamente usado en la industria. En este intercambiador un fluido fluye por el interior de los tubos, mientras el otro es forzado a través de la carcasa y sobre el exterior de los tubos. Para asegurar que el fluido por el lado de la carcasa fluya a través de los tubos e induzca una mayor transferencia de calor, se colocan, deflectores o placas verticales. Es corriente encontrar intercambiadores de calor de 2, 4, 8, etc. pasos de tubos. De la misma manera existe la posibilidad que exista varios pasos de carcasa.
- Compacto: Son intercambiadores diseñados para lograr un gran área superficial de transferencia de calor por unidad de volumen. La razón entre el área superficial de transferencia de calor y su volumen es la densidad de área b . Un intercambiador con $b > 700 \text{ m}^2/\text{m}^3$ se clasifica como compacto. Ejemplos de intercambiadores de calor compactos son los radiadores de automóviles, los intercambiadores de calor de cerámica de vidrio de las turbinas de gas, el regenerador del motor Stirling y el pulmón humano.

4.3.4. Acumulador.

Una instalación solar térmica para producción de ACS u otro tipo de aplicaciones requiere de un sistema de acumulación de energía que permita acoplar en el tiempo la oferta de radiación y la demanda de agua caliente para consumo y para climatización o calefacción.

La acumulación debe almacenar energía térmica con la mayor eficacia posible; dentro del término eficiencia se engloban la calidad de la estratificación de temperaturas (distribución vertical de temperaturas alcanzada en un acumulador) y las pérdidas térmicas.

Los materiales utilizados habitualmente en la fabricación de estos acumuladores son acero, acero inoxidable, aluminio y fibra de vidrio reforzado. El depósito de acero es el más utilizado debido a su precio, si bien es necesario de una protección interior frente a la corrosión.

En nuestra instalación utilizaremos dos acumuladores, uno para la demanda de calefacción y climatización (tanque solar) y otro para la demanda de agua caliente sanitaria (tanque ACS).

Para disminuir las pérdidas térmicas (ya que se pueden llegar a alcanzar temperaturas muy altas), ha de cubrirse toda la superficie exterior del acumulador, tuberías y bocas de conexión con material aislante adecuado que, en caso de que el acumulador esté situado en el exterior, ha de ser también resistente a la humedad y a la radiación solar. También se recomienda emplear acumuladores en los que el cociente entre la superficie exterior y el volumen sea bajo.

4.3.4.1. Estratificación de temperaturas.

Cuando un acumulador se encuentra estratificado, la temperatura del acumulador es una función de su altura vertical, decreciendo con la temperatura de la parte superior a la inferior.

La calidad de la estratificación queda configurada por los procesos de:

- Calentamiento o carga térmica.
- Mezcla por circulación interna o durante la descarga térmica.
- Degradación por transferencia térmica.

En estos procesos tiene gran importancia la configuración del acumulador, la situación de las conexiones y las velocidades de circulación del fluido en el interior.

La eficacia de una instalación solar aumenta al hacerlo la estratificación de temperaturas en el acumulador porque:

- Cuando existe consumo de agua caliente, al estar el agua caliente en la parte superior, es ésta la que va primero hacia el consumo consiguiéndose por tanto trasvasar el agua a mayor temperatura y retardar, en su caso, la activación del sistema de apoyo.
- El agua almacenada en la parte inferior se encuentra a inferior temperatura por lo que el agua que va desde el acumulador hasta los captadores o el fluido de trabajo que va desde el intercambiador hacia los captadores también está a menos temperatura. En ambas situaciones la temperatura de entrada a captadores es más baja y por tanto el rendimiento de éstos aumenta.

Para aumentar la estratificación en el sistema de acumulación de una instalación solar se recomienda tomar las siguientes medias:

- Emplear acumuladores de configuración vertical.
- Incorporar dispositivos (deflectores, tubos difusores) en las tuberías de entrada al acumulador que reduzcan la velocidad de entrada del agua.
- Situar correctamente las tuberías de conexión. En este sentido que se recomienda:
 - La tubería de entrada de agua fría descargue al acumulador por la parte inferior del mismo. Con esto se consigue además de mejorar la estratificación de temperaturas aumentar el volumen útil del acumulador que participa en los procesos de carga y descarga térmica.
 - La tubería de salida al consumo tome agua de la parte superior del acumulador.
 - Que la disposición de las diversas tuberías de entrada y de salida facilite el proceso de calentamiento en todo el acumulador.

4.3.5. Bomba de circulación.

Se emplea en una instalación de circulación forzada para hacer circular el fluido contenido en el circuito primario y, en caso de existir, también el del secundario y terciario.

En una instalación solar se pueden alcanzar temperaturas muy elevadas por lo que, especialmente en el circuito primario, la bomba debe instalarse en la zona más fría (tubería de ida hacia los captadores solares en el circuito primario). Incluso en esta tubería se pueden alcanzar picos de temperatura máxima de hasta 130°C por lo que deben tomarse medidas correspondientes para soportarlos, a pesar de que estos picos suelen aparecer con poca frecuencia y se mantienen durante poco tiempo (segundos o escasos minutos).

Por otra parte, debido a la aleatoriedad de la radiación solar, las bombas pueden experimentar arranques y paradas frecuentes por lo que han de estar preparadas para responder adecuadamente frente a estas situaciones.

Al hacer la elección de la bomba para la instalación tendremos que tener en cuenta la pérdida de carga de ésta y el caudal, ya que son los factores más importantes para la elección de la bomba. Por ejemplo, la pérdida de carga en el circuito primario sería la que se produce en el colector, intercambiador y tuberías.

4.3.6. Vaso de expansión.

Su finalidad es la de absorber las dilataciones del fluido caloportador, por lo que todas las instalaciones de agua caliente sanitaria deben equiparse con depósitos de expansión. Cuando crece la presión en la instalación debido a la dilatación del fluido caloportador, el fluido sobrante entra en el vaso y empuja a la membrana. El gas se comprime, evitando variaciones de presión.

Existen vasos de expansión abiertos y cerrados. En nuestra instalación pondremos cerrados ya que los abiertos no están permitidos.

4.3.7. Elementos de montaje y sujeción.

Su función es la de sujetar los colectores con la inclinación y orientación calculada en el proyecto. Las características de una buena estructura de soporte son las de rapidez de montaje, coste bajo y seguridad en el anclaje y sujeción.

El tipo de anclaje dependerá de la ubicación de los colectores según estén en cubierta o terraza, y dependiendo de las fuerzas que actúen sobre él como consecuencia de la presión del viento a la que se ve sometido.

4.3.8. Tuberías y aislamientos.

Debido a los altos niveles de presión y temperaturas que se pueden alcanzar en una instalación solar se recomienda utilizar tuberías y elementos de conexión metálicos. Estas tuberías y accesorios de conexión han de ser compatibles con el resto de elementos que constituyen la instalación solar y con el tipo de fluido empleado, resistentes a la corrosión, presentar buena estabilidad térmica y mecánica, etc.

El cobre es el material más aconsejable por tener unas altas prestaciones en cuanto a resistencia a la corrosión, maleabilidad, ductilidad e inocuidad, además de ser económicamente muy competitivo.

En cuanto al aislante, la singularidad más evidente de los materiales aislantes radica en que, debido a que en muchos casos se encuentran situados en tramos exteriores, han de comportarse adecuadamente frente a la radiación solar, humedad, corrosión y han de ser resistentes a la acción de posibles animales que se encuentren en el exterior (pájaros, roedores, etc.).

4.3.9. Otros elementos de la instalación.

4.3.9.1. Purgador y desaireador.

El purgador tiene como función evacuar los gases contenidos en el fluido caloportador, los cuales pueden dar lugar a la formación de bolsas que impiden la correcta circulación del fluido, además de provocar corrosiones. Para su correcto funcionamiento hay que colocar el purgador en el punto más alto de la instalación.

El desaireador asegura que los gases disueltos en el líquido sean evacuados hacia el exterior por el purgador

4.3.9.2. Manómetros.

Para darnos los valores de la presión en el circuito.

4.3.9.3. Termómetros y termostatos.

Los termómetros son los encargados de dar la temperatura del fluido. Mientras que los termostatos son los encargados de transformar una lectura de temperatura en una señal eléctrica que ponga en funcionamiento un determinado mecanismo.

4.3.9.4. Válvulas.

Son las encargadas de permitir o impedir el paso de fluido. Las más importantes son las siguientes:

- Válvulas de corte: en el campo de colectores se utilizan para poder independizar las agrupaciones de baterías de colectores que se hayan establecido facilitando la realización de operaciones de mantenimiento.
- Válvulas de regulación: son de especial aplicación para regular el caudal de circulación del fluido de los distintos ramales, circuitos, etc.
- Válvulas de retención: para evitar los flujos inversos no deseados que se producen, cuando las configuraciones de los circuitos lo permiten, entre el acumulador y captadores.
- Válvulas de seguridad: además de en los acumuladores, deben utilizarse en las agrupaciones de captadores que se puedan independizar donde se alcanzan condiciones de estancamiento y, habitualmente, se produce vapor.
- Válvulas de tres vías: se usan para regular la circulación por distintas conducciones según el momento, suelen estar reguladas por una señal eléctrica procedente del regulador diferencial o de un termostato.

4.3.9.5. Grifo de vaciado.

Se utiliza cuando es necesario vaciar el circuito. Para conseguirlo con rapidez y comodidad se debe colocar en la parte inferior de los circuitos.

4.3.9.6. Sistema de llenado.

Los sistemas cerrados deben incorporar un sistema de llenado, manual o automático, que permita llenar el circuito y mantenerlo presurizado en caso de pérdidas. Debido a que algunos componentes se encuentran situados al exterior, en muchas ocasiones el fluido utilizado en el circuito primario es una mezcla de agua con anticongelantes por lo que si se producen fugas en este circuito deben ser repuestas con la misma concentración de anticongelante en la mezcla.

4.3.10. Otros elementos externos a la instalación solar.

4.3.10.1. Sistema de energía de apoyo.

La función que tiene es calentar el agua, cuando sea necesario, para cumplir las necesidades de temperatura que se necesitan para el consumo o para la calefacción. Para ello, el agua se hace pasar por el sistema de apoyo, calentándola éste. El calentamiento de agua para ACS y para calefacción será independiente. Obteniendo el agua para ACS del tanque destinado a tal fin y cogiendo el agua para las otras dos aplicaciones del tanque solar.

Los sistemas de producción de agua caliente sanitaria empleados como sistemas de apoyo en las instalaciones solares tienen que cumplir, de forma resumida, las siguientes condiciones para aprovechar adecuadamente las prestaciones energéticas aportadas por la instalación solar:

- Admitir agua caliente a la entrada.
- Disponer de regulación de la temperatura de salida.

Los sistemas de apoyo utilizados suelen ser instantáneos o con acumulación. En estos últimos, con anterioridad a que tenga lugar el consumo de agua caliente, se prepara una determinada cantidad de agua que se almacena en un acumulador desde el que se distribuye el agua caliente al consumo.

A efectos energéticos, los factores que más influyen en el comportamiento de un sistema con acumulación son el correcto dimensionado del mismo, la temperatura de preparación, el nivel de aislamiento y el nivel de estratificación de temperaturas alcanzado.

4.3.10.2. Máquina frigorífica.

También se necesitará en la instalación una máquina frigorífica para poder satisfacer la demanda de climatización cuando se alcancen valores que la máquina de absorción no puede abarcar. Su estudio lo realizaremos más adelante, pero podemos adelantar que hará falta una máquina de compresión mecánica que abastezca por completo la demanda de climatización en el mes de julio, que es el mes con mayor carga térmica, para los casos en los que la instalación no pueda alimentar a la máquina de absorción..

4.3.10.3. Máquina de absorción.

Para el ahorro de combustible y de emisiones de CO_2 , podemos aprovechar la temperatura del agua procedente de los colectores solares para alimentar a la máquina de absorción.

La diferencia de operación entre el ciclo de compresión mecánica y la máquina de absorción reside en la fuente de energía que se emplea para mover el refrigerante desde el evaporador hasta el condensador: en el caso de la compresión mecánica, la fuente de energía es energía eléctrica que alimenta el compresor. El trabajo mecánico consumido es del orden del calor absorbido en el evaporador. La máquina de absorción es accionada por transferencias de energía en forma de calor (el calor suministrado en el generador para separar el vapor de refrigerante), siendo despreciable el trabajo mecánico que se requiere para elevar la presión de la disolución (en fase líquida) en la bomba.

Una máquina de refrigeración por absorción sustituye el compresor mecánico por un compresor termoquímico, constituido por dos intercambiadores de calor y masa, el absorbedor y el generador de la ilustración 4.3 (cada uno a la presión del evaporador y del condensador, respectivamente); una bomba de disolución y una válvula de expansión.

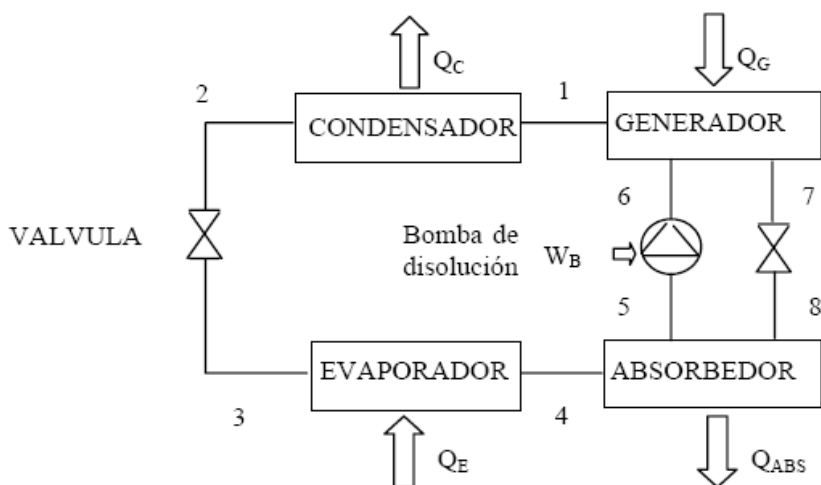


Ilustración 4.3. Esquema del funcionamiento de una máquina de absorción. (Fuente: Apuntes de Calor y Frío Industrial).

En estos nuevos componentes de la máquina circula una disolución compuesta por el refrigerante y un absorbente, afín al mismo. En el absorbedor, el vapor de refrigerante a la salida del evaporador se disuelve en la disolución. A la salida del absorbedor (5), la disolución (que tendrá una concentración rica en refrigerante) se bombea hasta la presión del condensador mediante la bomba de disolución. En el generador, se hace hervir la disolución (mediante un aporte de calor procedente de los colectores solares), que permite la separación del componente más volátil de la mezcla (el refrigerante), que en forma de vapor sobrecalentado (1) es enviado hacia el condensador. De este modo, a continuación, el refrigerante realiza los procesos de condensación, expansión y evaporación, de igual forma a como lo hace en un ciclo de compresión mecánica. En el generador, el resto de la disolución, con una concentración menor en refrigerante (7), es devuelta al absorbedor, a través de una válvula para reducir su presión. Esta disolución vuelve a absorber el vapor de refrigerante procedente del evaporador (4). Este proceso de absorción libera una cierta cantidad de calor.

Los ciclos de refrigeración por compresión mecánica trabajan con temperaturas en el foco caliente del orden (o superiores) a 300°C (este foco caliente corresponde a la fuente de calor empleada en las centrales térmicas para la producción de energía eléctrica, es la temperatura que se alcanza para conseguir la energía necesaria), lo que proporciona un CEE del orden de 4. Como se verá más adelante la temperatura en el foco caliente de los ciclos de absorción es más baja (del orden de 100°C), lo que correspondería a un CEE en torno a 1, inferior al CEE de la máquina de compresión mecánica. Esta desventaja inicial, sin embargo, se convierte en ventaja si se tiene en cuenta que los ciclos de absorción, dado que la temperatura necesaria en el generador es relativamente baja, pueden ser accionados con calores residuales.

Las máquinas de absorción más importantes son las de Bromuro de Litio/Agua y las de Agua/Amoníaco.

4.3.10.4. Suelo radiante.

La calefacción por suelo radiante consistente en una tubería empotrada en la capa de mortero que discurre por toda la superficie del local a calefactar. Esta tubería conduce agua caliente (a baja temperatura respecto a otros sistemas de calefacción) producida generalmente por una caldera. En nuestro caso, mediante la instalación solar se conseguirá aportar una parte de la energía necesaria para el uso de suelo radiante. Para llegar a la temperatura final necesaria se hará uso de una caldera de apoyo, al igual que para calentar el agua para el consumo de ACS.

El agua cede el calor al suelo a través de la tubería y el suelo, a su vez, lo transmite al ambiente del edificio.

Ventajas del suelo radiante:

1. Distribución ideal de la temperatura: para las personas, existe una distribución ideal de la temperatura en un local (Ilustración 4.4). Si interpretamos esta curva, vemos que es conveniente conseguir una mayor temperatura en el suelo que en el techo ya que el calor en los pies produce bienestar mientras que un fuerte calor al nivel de la cabeza se traduce en malestar.

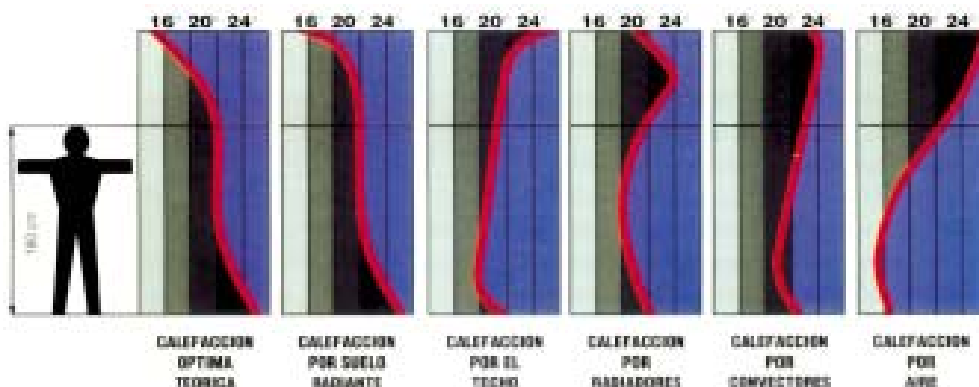


Ilustración 4.4. Distribución de temperaturas según aplicación. (Fuente: Industrial BLANSOL).

En estos gráficos de distribución de temperatura, se aprecia perfectamente que el suelo radiante es el sistema que más se acerca a la calefacción ideal. En los otros tipos de calefacción representados, la temperatura del suelo es inferior a la del techo, lo que provoca una acumulación del calor donde menos se necesita.

2. Estética: Con el suelo radiante desaparecerán de su vivienda los siempre molestos radiadores, que hasta ahora limitaban las posibilidades de decoración de su hogar y que suponen un foco donde se acumula polvo y cuyos huecos resultan siempre tan difíciles de limpiar.
3. No ensucia las paredes: Los radiadores provocan movimientos de aire que acaban ennegreciendo la pared en la parte superior del radiador. El suelo radiante elimina de raíz este problema ya que no genera corrientes de aire por trabajar a baja temperatura.
4. Seguridad: El suelo radiante elimina los radiadores que siempre suponen un riesgo de quemaduras tanto para los niños como para los ancianos.
5. Ecológico: Dada la baja temperatura requerida, la instalación de suelo radiante se puede combinar con sistemas de paneles solares u otras energías alternativas.
6. Temperatura uniforme en toda la vivienda: Con la calefacción por suelo radiante, se obtiene una temperatura uniforme en toda la superficie de la vivienda (unos 22 °C) desapareciendo así las zonas frías y calientes características de la calefacción por radiadores.

7. La calefacción más confortable: La calefacción por suelo radiante elimina el efecto de "paredes frías" y permite respirar un aire más fresco con el consiguiente aumento de la sensación de bienestar. El suelo radiante asimismo mantiene el grado de humedad natural del ambiente.
8. La calefacción más saludable: La uniformidad de las variables "temperatura" y "humedad" a lo largo del espacio de un local permite un funcionamiento normal del mecanismo de regulación de la temperatura corporal. Los otros sistemas de calefacción no mantienen esta uniformidad. Al no reseca el ambiente, desaparecen los problemas respiratorios debidos a la calefacción.
9. La calefacción que ahorra energía: Contrariamente a los sistemas de calefacción por radiadores, que necesitan una temperatura media del agua de 80 °C, en los circuitos de calefacción por suelo radiante es suficiente una temperatura media del agua de 40 °C - 45 °C. Al trabajar a baja temperatura, se reducen las pérdidas de calor en las conducciones generales, tuberías que enlazan la fuente de calor con los circuitos, y se puede producir el agua caliente mediante cualquier fuente de calor (bomba de calor, calderas de alto rendimiento o paneles solares).



CAPÍTULO 5

INSTALACIÓN DE ACS

5.1. Introducción.

Vamos a hacer primero un estudio de la instalación únicamente para ACS para ver el número mínimo de colectores que necesitamos para cumplir la contribución solar mínima anual de mi región (para Albacete $f = 0,7$). Para ello, vamos primero a hacer un estudio medio anual fijando la contribución solar mínima necesaria y viendo el área de colectores necesario. Una vez obtenido el área de colectores, vemos si con esos colectores se cumple que la media del factor solar mínimo anual, es mayor o igual a 0,7.

En este apartado no vamos a tener en cuenta las pérdidas en la instalación (en el colector sí), ya que es un cálculo aproximado, para saber el número de colectores que necesitamos. Una vez que obtengamos el número mínimo de colectores, vemos si en nuestro edificio podemos colocar un número mayor, ya que la energía sobrante será utilizada para calefacción y para climatización.

La media del factor solar, hay que tener en cuenta que no se calcula como la suma del factor solar de cada mes entre el número de meses, si no la suma del calor que el colector aporta cada mes, entre el calor que necesita la instalación de ACS.

Muchos de los componentes que vamos a explicar aquí también se utilizan para las instalaciones de climatización y calefacción, ya que son una ampliación de la instalación de ACS. En este apartado sólo vamos a comentar los balances y los cálculos a realizar, la explicación de cada elemento se hará más adelante.

5.2. Esquema de la instalación

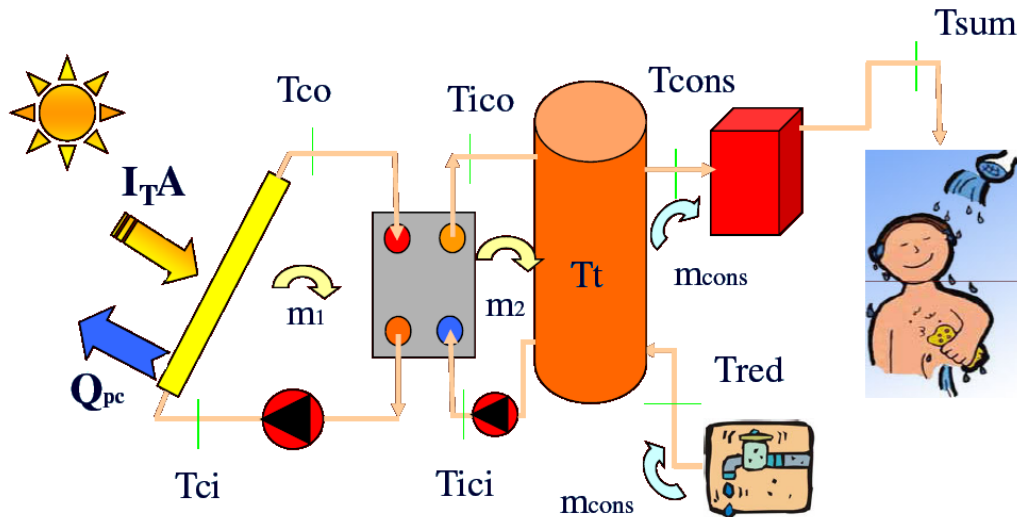


Ilustración 5.1. Esquema de una instalación de ACS. (Fuente: Departamento de Ingeniería Térmica).

La explicación simplificada de la instalación sería la siguiente, teniendo en cuenta que vamos a analizarlo con la instalación en funcionamiento, es decir, con la instalación en régimen permanente, no en el momento del comienzo o del final de su uso:

- La radiación solar llega al colector solar, una parte de esta radiación será utilizada para calentar el fluido que va por el interior de los colectores (Calor útil), y la parte restante serán las pérdidas (tanto ópticas, como por la parte superior como inferior del colector).
- El líquido que circula por los colectores se calienta desde T_{ci} hasta T_{co} , mediante el calor útil. El caudal que circula se puede variar, para aumentar la variación de temperaturas. En la instalación estudiada vamos a usar el caudal nominal proporcionado por el fabricante del colector para poder comparar las pérdidas con la curva y con el diagrama de resistencias térmicas.
- El fluido que pasa por el colector calienta mediante un intercambiador de calor el agua que viene del tanque de acumulación
- En el tanque se produce una mezcla del agua fría que viene de la red y del agua caliente calentada mediante el intercambiador de calor. El balance de energía en el tanque define su temperatura media. Mediante la estratificación podemos calcular la temperatura de consumo.
- El caudal de consumo estará definido por el número de personas y por las horas de sol de la región.

- Una vez que tenemos una temperatura de consumo, necesitamos usar una caldera para llegar a la temperatura de suministro, esto en los casos que la contribución solar mínima sea menor que 1.

5.3. Datos iniciales.

Los datos iniciales que podemos conocer en una instalación solar son los siguientes:

- **Radiación sobre el plano horizontal**, depende del lugar donde esté la instalación. Además al hacer el balance de energía hay que tener en cuenta la inclinación que tenga el colector y las pérdidas ópticas del cristal del colector.
- **Resistencias térmicas del colector**, calculadas en el apartado de pérdidas en el colector. Sirven para calcular las pérdidas.
- **Eficiencia del intercambiador de calor (ϵ_{ic})**, lo obtenemos del fabricante del intercambiador.
- **Caudal de consumo (m_{cons})**, depende del número de personas y de las horas de sol.
- **Temperatura de la red (T_{red})**, depende de la zona en la que esté situada la instalación.
- **Temperatura ambiente (T_0)**, depende de la zona en la que esté situada la instalación.
- **Densidad de los fluidos ($\rho_{agua-propilenglycol}$, ρ_{agua})**, tanto del líquido que circula por el colector (agua más anticongelante), como del líquido que circula por el circuito secundario y por el de consumo (agua).
- **Calor específico de los fluidos ($Cp_{agua-propilenglycol}$, Cp_{agua})**, igual que para la densidad.
- **Temperatura de suministro (T_{sum})**, la temperatura a la que hay que suministrar el agua es de 60°C.

5.4. Parámetros variables.

Los parámetros variables son el caudal del circuito primario (m_1) y del circuito secundario (m_2). Ambos caudales son iguales por tratarse de un intercambiador simétrico.

5.5. Incógnitas.

Las incógnitas que queremos obtener son las siguientes:

- Temperatura de entrada a los colectores (T_{ci})
- Temperatura de salida de los colectores (T_{co})
- Temperatura de entrada al tanque (T_{ici})
- Temperatura de salida del tanque (T_{ico})
- Temperatura de consumo (T_{cons})
- Temperatura media del tanque (T_t)
- Área de colectores (A), esta incógnita sólo la hallaremos en los cálculos medios anuales, dejándolo fijo en los cálculos medios mensuales.
- Contribución solar mínima (f), calcularemos este parámetro para valores medios mensuales, dejándolo fijo en el cálculo medio anual.

5.6. Ecuaciones.

5.6.1. Balance de energía en los colectores.

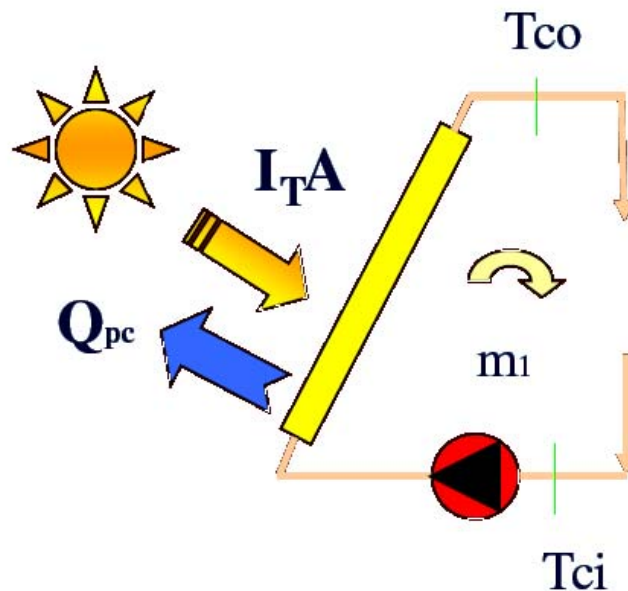


Ilustración 5.2. Esquema del balance de energía en el colector. (Fuente: Departamento de Ingeniería Térmica).

Balance de energía en el colector:

$$Q_{pc} = I_{Tm} \cdot A - m_{1total} \cdot Cp_1 \cdot (T_{co} - T_{ci})$$

Donde:

- Q_{pc} son las pérdidas en el colector, calculadas mediante el programa de resistencias térmicas, fijando la temperatura de entrada y salida del colector.
- I_{Tm} es la radiación que llega a la placa absorbedora, este valor no es el mismo que la radiación sobre una superficie horizontal, si no que es:

$$I_{Tm} = I_T \cdot k_m \cdot \eta_0$$

Siendo I_T la radiación sobre una superficie horizontal, k_m el factor de corrección por la inclinación y latitud del colector y η_0 el rendimiento óptico del colector ($\eta_0 = 0,786$).

- A es el área de colectores, en los cálculos medios anuales será una incógnita para obtener el número mínimo de colectores, y en los cálculos medios mensuales lo dejaremos como un valor fijo.
- $m_{1total} \cdot C_{p1} \cdot (T_{co} - T_{ci})$ es el calor útil que aprovecha el colector. Para el caudal tomamos uno de los valores posibles dados por el fabricante $m_1 = 100$ l/hr para cada colector. Para el calor específico y la densidad, tenemos que tener en cuenta el porcentaje de propilenglycol y la temperatura aproximada. Y los valores de temperatura y salida del colector son incógnitas.

5.6.2. Balance de energía en el intercambiador de calor.

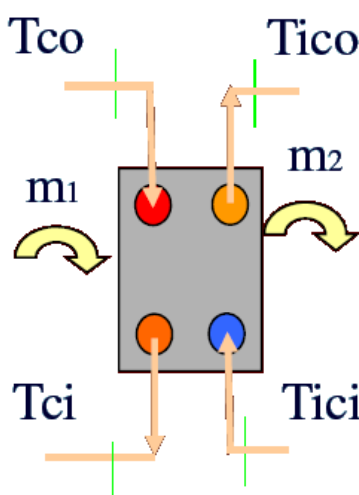


Ilustración 5.3. Esquema del funcionamiento del intercambiador. (Fuente: Departamento de Ingeniería Térmica).

En el intercambiador de calor se necesitan dos ecuaciones, el balance de energía y la eficiencia del intercambiador. El intercambiador es simétrico luego los caudales serán iguales ($m_1 = m_2$).

- **Balance de energía en el intercambiador:**

$$m_{1total} \cdot C_{p1} \cdot (T_{co} - T_{ci}) = m_{2total} \cdot C_{p2} \cdot (T_{ico} - T_{ici})$$

- **Eficiencia del intercambiador de calor:**

$$\varepsilon_{ic} = \frac{m_{2total} \cdot C_{p2} \cdot (T_{ico} - T_{ici})}{C_{min} \cdot (T_{co} - T_{ici})}$$

Siendo $C_{min} = \min(m_{1total} \cdot C_{p1}, m_{2total} \cdot C_{p2})$

5.6.3. Contribución solar mínima anual.

El CTE establece el valor de la contribución solar mínima y del valor de la temperatura de suministro según la zona climática en la que nos encontremos, la demanda diaria de ACS y la fuente de energía auxiliar que utilicemos. Para nuestro caso, $f = 0.7$ y $T_{\text{sum}} = 60^\circ\text{C}$.

- **Contribución solar:**

$$f = \frac{T_{\text{cons}} - T_{\text{red}}}{T_{\text{sum}} - T_{\text{red}}}$$

Recordamos que este valor en el cálculo de la instalación para valores medios anuales tendrá un valor fijo e igual a 0,7, pero para valores medios mensuales pasa a ser una incógnita, teniendo que comprobar si se consigue con el número de colectores mínimos obtenidos la fracción solar mínima deseada.

5.6.4. Tanque de acumulación.

- Balance de energía en el tanque:

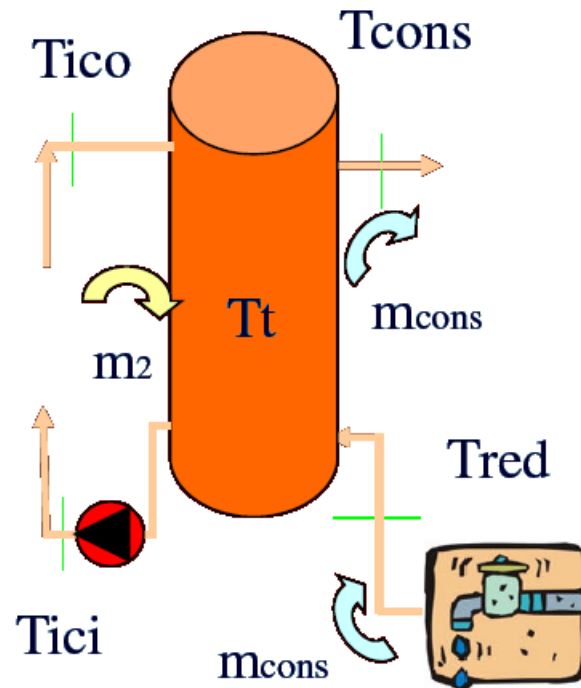


Ilustración 5.4. Esquema funcionamiento tanque de almacenamiento. (Fuente: Departamento de Ingeniería Térmica).

$$m_{2total} \cdot C_{p2} \cdot (T_{ico} - T_{ici}) = m_{cons} \cdot C_{pcons} \cdot (T_{cons} - T_{red})$$

Las temperaturas son todas incógnitas, menos la T_{red} que la obtenemos mediante CENSOLAR. El caudal de consumo lo obtenemos mediante el CTE, de acuerdo al número de personas que tiene el edificio, el caudal será $m_{cons} = 462$ l/día, correspondiente a 21 personas. Después este valor tenemos que multiplicarlo por la densidad del agua, y dividirlo por el número de horas de sol por cada mes.

- Temperatura media del tanque:

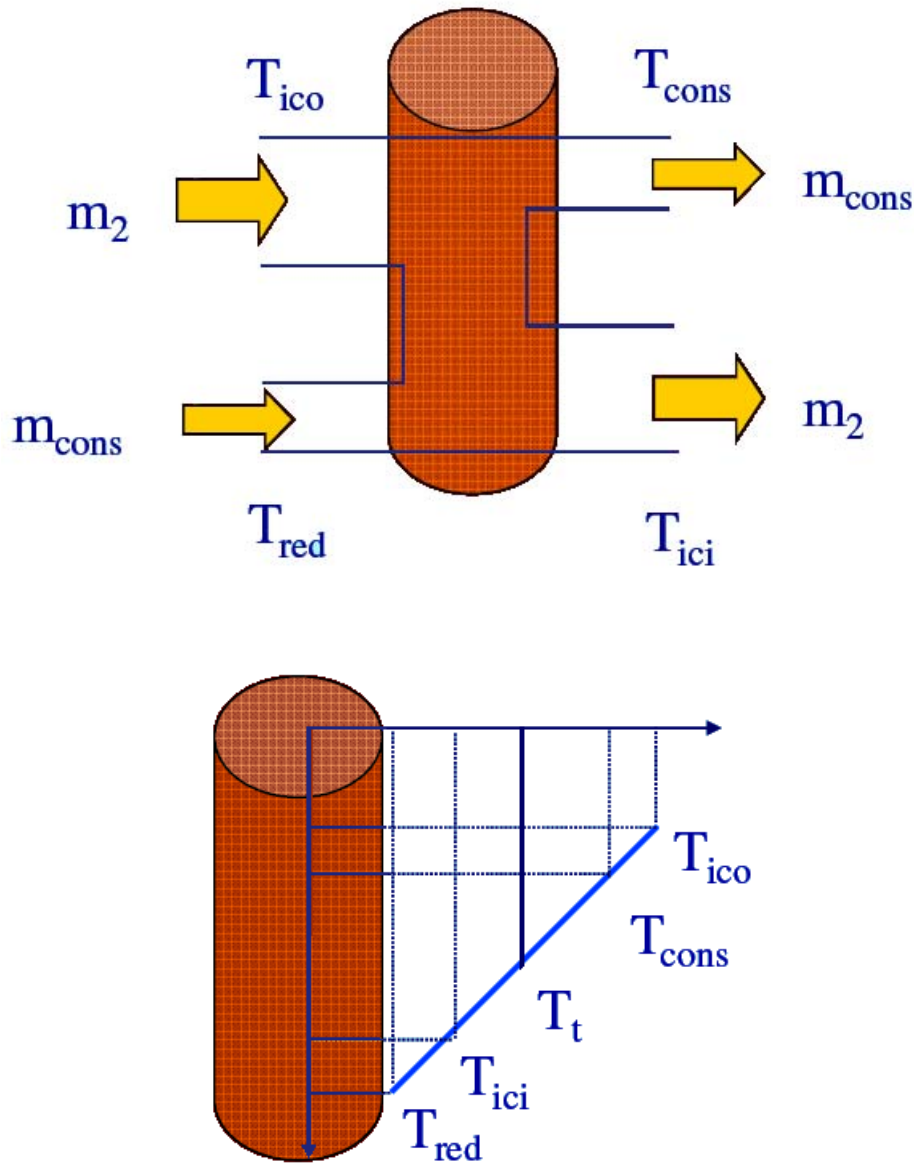


Ilustración 5.5. Esquemas de temperaturas en el acumulador. (Fuente: Departamento de Ingeniería Térmica).

Suponiendo tanque completamente mezclado y en estado estacionario, si se aplica el balance de energía se obtiene:

$$m_{2total} \cdot C_{agua} \cdot T_{ico} + m_{cons} \cdot Cp_{agua} \cdot T_{red} = (m_{2total} + m_{cons}) \cdot Cp_{agua} \cdot T_t$$

Despejando la temperatura media del tanque se obtienen:

$$T_t = \frac{T_{ico} \cdot m_{2total} + T_{red} \cdot m_{cons}}{m_{2total} + m_{cons}}$$

- **Estratificación del tanque:**

La estratificación del tanque es un fenómeno importante, la estratificación tiene en cuenta la diferencia de densidades y temperaturas de los niveles de agua en el tanque.

A mayor estratificación mayor es el rendimiento de la instalación solar.

La estratificación térmica de la acumulación hace posible que la temperatura de entrada al colector sea lo más baja posible, lo que aumenta el rendimiento. Para conseguir una buena estratificación es importante la utilización de depósitos verticales y cuando sea posible la conexión en serie de las baterías de depósitos.

La estratificación puede tomar valores desde 0 hasta 1: $0 \leq E_T \leq 1$.

Con el valor de la estratificación se puede obtener el valor de T_{cons} , que ha de estar entre T_{ico} y T_t :

- $E_T = 0 \rightarrow T_{cons} = T_t$
- $E_T = 1 \rightarrow T_{cons} = T_{ico}$

El valor de T_{cons} con respecto a la estratificación será:

$$T_{cons} = T_t + (T_{ico} - T_t) \cdot E_T$$

Y esto nos lleva a la ecuación que usaremos en el sistema de ecuaciones:

$$E_T = \frac{T_{cons} - T_t}{T_{ico} - T_t}$$

$$Q_{pc} = I_{Tm} \cdot A - m_l \cdot C_{pl} \cdot (T_{co} - T_{ci})$$

5.6.5. Resumen de ecuaciones

- Balance de energía en el colector:

$$Q_{pc} = I_{Tm} \cdot A - m_1 \cdot C_{p1} \cdot (T_{co} - T_{ci})$$

- Balance de energía en el intercambiador de calor:

$$m_{1total} \cdot C_{p1} \cdot (T_{co} - T_{ci}) = m_{2total} \cdot C_{p2} \cdot (T_{ico} - T_{ici})$$

- Eficiencia del intercambiador de calor:

$$\varepsilon_{ic} = \frac{m_{2total} \cdot C_{p2} \cdot (T_{ico} - T_{ici})}{C_{min} \cdot (T_{co} - T_{ici})}$$

- Contribución solar mínima anual:

$$f = \frac{T_{cons} - T_{red}}{T_{sum} - T_{red}}$$

- Balance energético en el tanque:

$$m_{2total} \cdot C_{p2} \cdot (T_{ico} - T_{ici}) = m_{cons} \cdot C_{pcons} \cdot (T_{cons} - T_{red})$$

- Temperatura media del tanque:

$$T_t = \frac{T_{ico} \cdot m_{2total} + T_{red} \cdot m_{cons}}{m_{2total} + m_{cons}}$$

- Estratificación del tanque:

$$E_T = \frac{T_{cons} - T_t}{T_{ico} - T_t}$$

5.7. Análisis de resultados.

5.7.1. Caso medio anual.

La primera parte del estudio de una instalación de ACS consiste en el estudio medio anual para poder obtener el área mínima de colectores necesarios con respecto a las pérdidas que se obtienen en el colector, y con esa área obtenemos el número mínimo de colectores necesario para obtener nuestra contribución solar mínima necesaria.

Al hacer el estudio anual, todos los datos iniciales usados son los datos medios anuales de la zona donde está situada la instalación.

En el estudio medio anual, la temperatura de entrada y salida del líquido del colector es la misma, variando el número de colectores al introducir las pérdidas en éste. Las temperaturas del colector son:

$$T_{ci} = 317,942 \text{ K y } T_{co} = 321,906 \text{ K}$$

Con estas temperaturas podemos calcular las pérdidas medias anuales en el colector. Para ello, en el programa de resistencias térmicas, fijamos el valor de la temperatura de entrada y de salida del colector y nos da los valores deseados:

$$Q_{pup} = 428,589 \text{ W}$$

$$Q_{pdown} = 39,001 \text{ W}$$

Utilizando ahora estas pérdidas en el programa de la instalación de ACS, obtenemos un área total de colectores de:

$$A_{total} = 10,454 \text{ m}^2$$

Y teniendo en cuenta que el área de un colector es de $A_{col} = 2,0909 \text{ m}^2$, entonces el número mínimo de colectores necesarios es:

$$n_{col} = 5$$

Pero teniendo en cuenta que no hemos tenido en cuenta ningún tipo de pérdidas en la instalación y al ser valores medios no tienen por qué corresponderse exactamente con los valores reales, vamos a tomar el número de colectores como 6. Por lo tanto el número de colectores final es:

$$n_{col} = 6$$

5.7.2. Caso medio mensual.

Este caso es más complicado, ya que para el cálculo de las pérdidas no tenemos unos valores de temperatura de entrada y salida del colector que utilizar. Para ello, el método utilizado es suponer una temperatura inicial de la placa y con ella calcular las pérdidas que habría con la curva de normalización del colector de la forma y obtener los resultados. Los pasos a seguir son los siguientes:

- Suponer una temperatura de la placa para cada mes (T_{placa}).
- Calcular el rendimiento del colector con la temperatura de la placa que hemos supuesto.

$$\eta = \eta_0 - k_1 \cdot \frac{T_{placa} - T_0}{I \cdot k_m}$$

- Calcular las pérdidas en el colector con el rendimiento obtenido. Estas pérdidas son aproximadas, ya que hemos supuesto la temperatura de la placa.
- Introducimos las pérdidas en el programa de la instalación de ACS, dándonos unos valores de temperatura de entrada y salida del colector.
- Estos valores los introducimos en el programa de pérdidas en el colector, dándonos unos nuevos valores de pérdidas, y un nuevo valor de la temperatura de la placa, que utilizamos para calcular otras pérdidas e introducirlas en el programa de ACS.
- Volvemos a obtener unos nuevos valores de temperatura de entrada y salida del colector, con ellos calculamos las pérdidas en el programa de resistencias térmicas.
- Hacemos este procedimiento hasta que los valores en un programa y en otro sean similares.
- Comprobamos los resultados para ver que no haya incoherencias en los cálculos y en los resultados.

5.7.3. Resultados mensuales.

Tabla con los resultados del programa de la instalación de ACS:

MES	Soluciones						
	$T_{ci}(K)$	$T_{co}(K)$	$T_{ici}(K)$	$T_{ico}(K)$	$T_{cons}(K)$	$T_i(K)$	f_{acs}
Enero	291.388	293.856	290.331	292.638	290.982	290.43	0.234
Febrero	299.99	303.072	298.668	301.551	299.463	298.767	0.377
Marzo	314.748	318.751	313.032	316.776	314.046	313.136	0.634
Abril	318.541	322.568	316.816	320.581	317.832	316.915	0.696
Mayo	325.428	329.462	323.7	327.472	324.707	323.785	0.83
Junio	340.749	345.09	338.888	342.947	339.958	338.962	1.145
Julio	356.134	360.599	354.221	358.395	355.311	354.283	1.476
Agosto	353.662	357.931	351.833	355.825	352.874	351.891	1.415
Septiembre	334.300	338.874	332.34	336.617	332.874	332.43	1.01
Octubre	316.037	319.961	314.355	318.025	315.348	314.456	0.646
Noviembre	301.826	305.12	300.414	303.494	301.269	300.527	0.388
Diciembre	291.342	294.056	290.179	292.716	290.903	290.299	0.233

Tabla 5.1. Resultado de las ecuaciones para agua caliente sanitaria. (Cálculos realizados en mathcad).

Tabla con las pérdidas por la parte superior e inferior del colector:

MES	PÉRDIDAS	
	$Q_{\text{pup}} \text{ (W)}$	$Q_{\text{pdown}} \text{ (W)}$
Enero	208.918	18.542
Febrero	277.343	26.705
Marzo	346.931	38.797
Abril	413.97	42.676
Mayo	418.664	45.642
Junio	500.297	60.388
Julio	570.482	77.244
Agosto	555.544	73.23
Septiembre	505.553	63.814
Octubre	347.571	36.94
Noviembre	282.811	26.079
Diciembre	217.589	18.109

Tabla 5.2. Pérdidas en el colector para ACS. (Cálculos realizados en mathcad).

5.7.4. Contribución solar mínima.

Es necesario que la contribución solar mínima tenga un valor global superior a 0,7. Como es normal en los meses de invierno este valor es menos de 0,7, y en los meses de verano este valor incluso supera la unidad. Para calcular su valor total, no se puede hacer la media de los valores de f , sino que hay que hacer la división de la suma del calor aportado por la instalación solar entre la suma del calor necesitado por la instalación de ACS.

$$f_{acs} = \frac{\sum Q_{solar}}{\sum Q_{acs}} = 0.737$$

Como vemos nuestra contribución solar es superior a la mínima necesaria, luego la instalación sería válida. En el cálculo de este valor de f no hemos tenido en cuenta las pérdidas en la instalación, por ser una aproximación, pero con ese valor de f obtenido, teniendo en cuenta las pérdidas, la instalación seguiría siendo válida.

5.7.5. Pérdidas en el colector.

Como vemos en la tabla de resultados, y en la gráfica siguiente, las pérdidas en los meses de verano son mayores que en los meses de invierno, esto es debido a la mayor diferencias de temperatura entre los componentes de la instalación solar y el exterior en los meses de verano que en los del invierno, por eso se producen mayores flujos de calor en el colector.

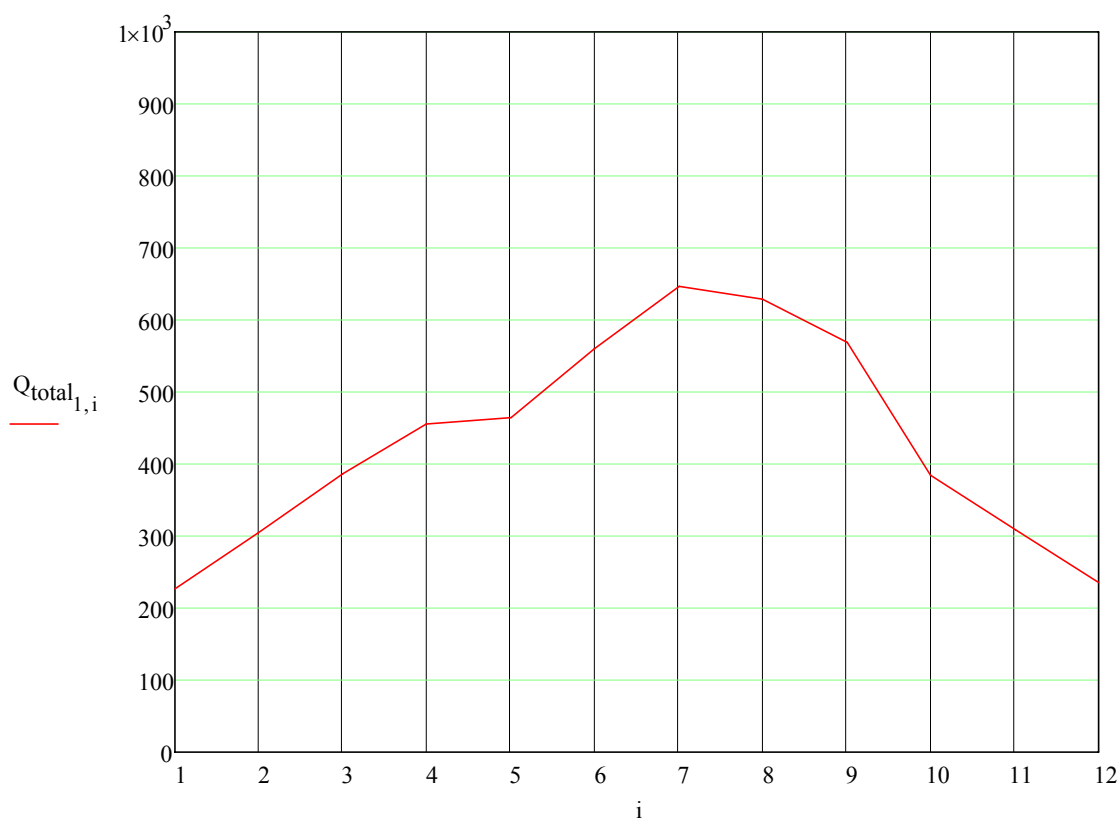


Ilustración 5.6. Gráfica de pérdidas de calor (W) en el colector para ACS en cada mes.

5.7.6. Rendimiento.

Como podemos observar también en la gráfica del rendimiento, éste disminuye en los meses de verano, ya que aumentan las pérdidas y el fluido está a una temperatura mayor, por lo que es más difícil aumentar su temperatura.

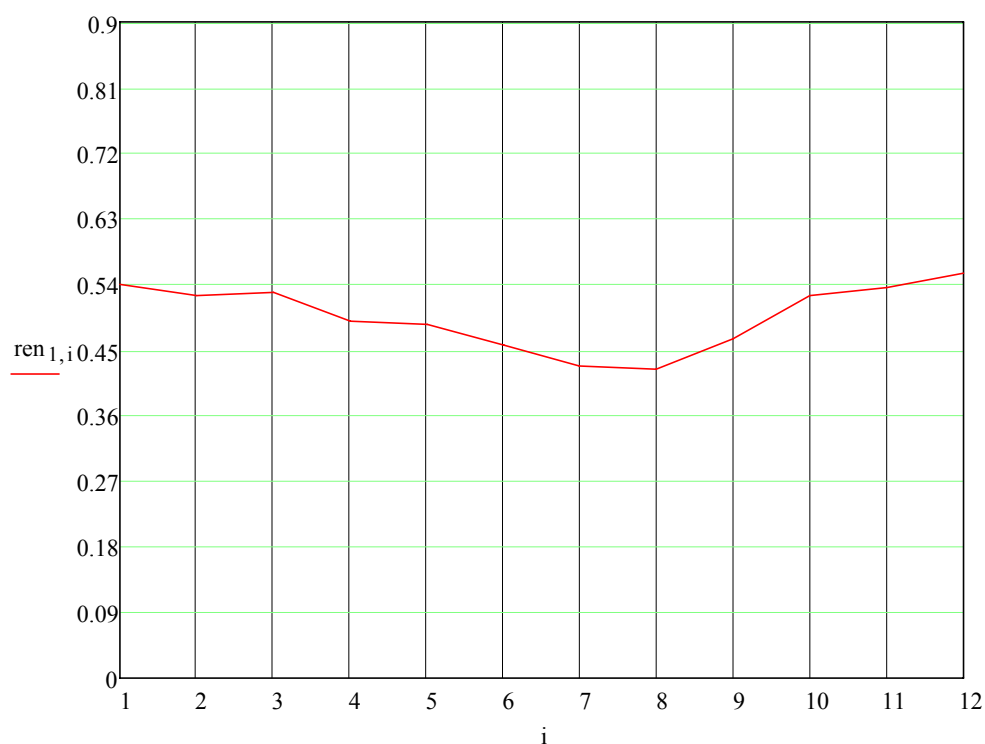


Ilustración 5.7. Gráfica del rendimiento del colector para ACS en cada mes.

5.8. Consideraciones finales.

Si la instalación que estuviéramos estudiando se tratara solamente de ACS, tendríamos que hacer modificaciones en la instalación ya que el CTE nos dice lo siguiente:

Con independencia del uso al que se destine la instalación, en el caso de que en algún mes del año la contribución solar real sobrepase el 110 % de la demanda energética o en más de tres meses seguidos el 100 %, se adoptarán cualquiera de las siguientes medidas:

- a) dotar a la instalación de la posibilidad de disipar dichos excedentes (a través de equipos específicos o mediante la circulación nocturna del circuito primario);
- b) tapado parcial del campo de captadores. En este caso el captador está aislado del calentamiento producido por la radiación solar y a su vez evacua los posibles excedentes térmicos residuales a través del fluido del circuito primario (que seguirá atravesando el captador);
- c) vaciado parcial del campo de captadores. Esta solución permite evitar el sobrecalentamiento, pero dada la pérdida de parte del fluido del circuito primario, debe ser repuesto por un fluido de características similares debiendo incluirse este trabajo en ese caso entre las labores del contrato de mantenimiento;
- d) desvío de los excedentes energéticos a otras aplicaciones existentes.

En nuestra instalación además de ACS, usamos las placas para aplicaciones de calefacción y climatización, pudiendo controlar mensualmente el factor solar para el ACS.

Hay que tener en cuenta, a la hora de abordar la instalación con las otras aplicaciones, que el factor solar de ACS tiene que seguir teniendo un valor medio de 0,7, por lo tanto, habrá que hacer un estudio de los parámetros que se puedan variar en la instalación para conseguir ese 0,7 de factor solar para ACS.



CAPÍTULO 6

INSTALACIÓN DE ACS, CALEFACCIÓN Y CLIMATIZACIÓN

6.1. Introducción.

En este apartado ya sí que vamos a tener en cuenta las aplicaciones de calefacción y climatización en el edificio. Tomando en cada mes el valor más restrictivo de carga térmica para ver cuánto es capaz de aportar la instalación solar.

Al igual que comentábamos en el apartado de la instalación de ACS, es necesario cumplir la contribución solar mínima anual de mi región (para Albacete $f = 0,7$), sólo para ACS, independientemente de las otras aplicaciones de las que haga uso la instalación solar. Para ello como veremos más adelante, tendremos que ver cuál es el caudal de ACS óptimo para la instalación y además en los meses de invierno, utilizaremos la instalación solar sólo para ACS, ya que si no, no podremos cumplir con el CTE.

Como vimos en el cálculo de la instalación de ACS, para conseguir cumplir con el CTE, necesitábamos un mínimo de 6 colectores solares. Para esta instalación vamos a hacer uso de 15 colectores, por lo tanto el excedente de energía lo emplearemos en el suelo radiante y en la máquina de absorción.

En los meses de verano, como vimos en el capítulo de la instalación sólo de ACS, sobra factor solar, por lo que en esta instalación vamos a fijar el factor solar en los meses de verano en 1, y la energía sobrante la emplearemos en la máquina de absorción. Se fija en 1 ya que si fuera menor, podría darse el caso de no cumplirse con el mínimo exigido por el CTE, ya que usamos parte de la energía para alimentar otras aplicaciones. Además hay que tener en cuenta, que en este tipo de instalaciones, el ACS predomina sobre las demás, por lo que si fuera necesario, se emplearía la instalación solo para tal uso.

Como en el apartado anterior ya expliqué las ecuaciones, y en este sólo se añaden algunas más, sólo vamos a decir cuáles son estas ecuaciones en cada caso y daremos una explicación de los resultados.

El cálculo de la instalación para ACS, calefacción y climatización no se ha realizado en mathcad, ya que el programa daba problemas a la hora del cálculo de los resultados. En su lugar he usado el programa matemático Maple.

6.2. Esquema de la instalación.

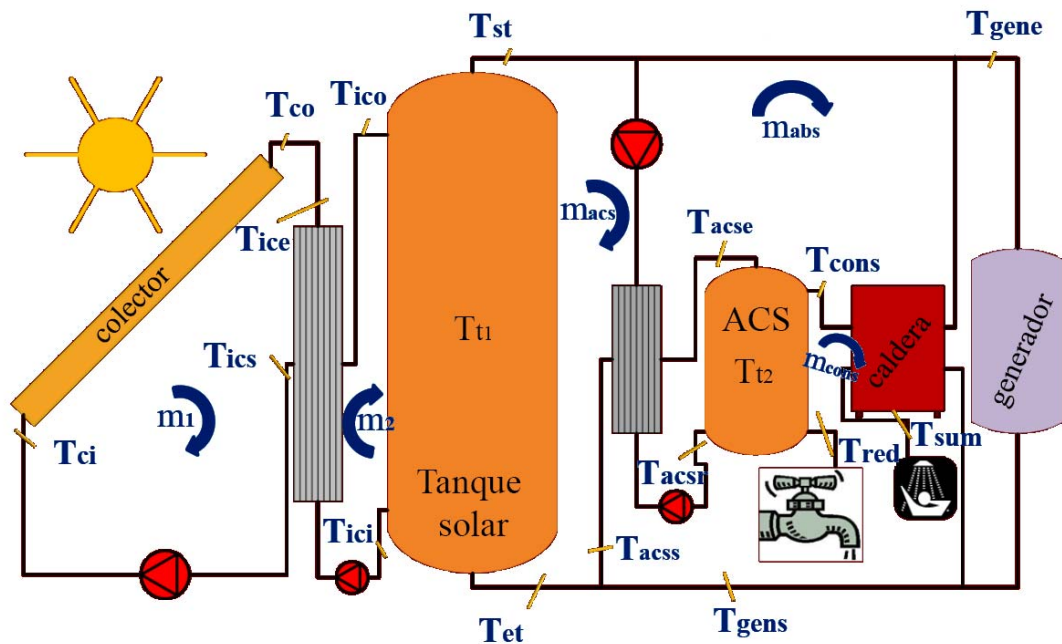


Ilustración 6.1. Esquema de una instalación solar para ACS y climatización. (Fuente: Departamento de Ingeniería Térmica).

Podemos observar en el dibujo un esquema de la instalación; este caso corresponde solamente a climatización, el esquema de calefacción sería igual, pero en lugar del generador de la máquina de absorción tendríamos las tuberías del suelo radiante.

Vemos que el esquema está compuesto de dos tanques, uno para abastecer los sistemas de calefacción y climatización, y el otro únicamente para el consumo.

También dispone de dos intercambiadores de calor, ya que de esta forma podemos separar el agua del consumo de la usada para la climatización.

También podemos observar que, para las aplicaciones de climatización, la caldera se encuentra en paralelo en lugar de en serie, esto es por si en alguna ocasión queremos que toda la energía de los colectores se emplee en el agua caliente sanitaria.

6.3. Datos iniciales.

Muchos de ellos serán los mismos que en la instalación sólo de ACS. Son los siguientes:

- **Radiación sobre el plano horizontal**, depende del lugar donde esté la instalación. Además al hacer el balance de energía hay que tener en cuenta la inclinación que tenga el colector y las pérdidas ópticas del cristal del colector.
- **Resistencias térmicas del colector**, calculadas en el apartado de pérdidas en el colector. Sirven para calcular las pérdidas.
- **Eficiencia del intercambiador de calor 1 (ϵ_{ic})**, lo obtenemos del fabricante del intercambiador.
- **Eficiencia del intercambiador de calor 2 (ϵ_{ic})**, lo obtenemos del fabricante del intercambiador.
- **Caudal de consumo (m_{cons})**, depende del número de personas y de las horas de sol.
- **Temperatura de la red (T_{red})**, depende de la zona en la que esté situada la instalación.
- **Temperatura ambiente (T_0)**, depende de la zona en la que esté situada la instalación.
- **Densidad de los fluidos ($\rho_{agua-propilenglycol}$, ρ_{agua})**, tanto del líquido que circula por el colector (agua más anticongelante), como del líquido que circula por el circuito secundario y por el de consumo (agua).
- **Calor específico de los fluidos ($Cp_{agua-propilenglycol}$, Cp_{agua})**, igual que para la densidad.
- **Temperatura de suministro (T_{sum})**, la temperatura a la que hay que suministrar el agua es de 60°C.
- **Temperaturas de entrada y salida de la máquina de absorción (T_{gene} , T_{gens})**: sólo para los meses de verano. Con el caudal de la máquina de absorción, la carga térmica necesaria y fijando un valor de temperatura de entrada al generador, obtenemos la temperatura de salida. Hemos elegido una máquina de absorción que para la carga térmica máxima de cada mes se utiliza toda su capacidad, por lo que las temperaturas serán las mismas para todos los meses. Éstas son $T_{gene} = 85^\circ\text{C}$ y $T_{gens} = 76,71^\circ\text{C}$.
- **Caudal de la máquina de absorción**: depende de cada tipo de máquina de absorción, en nuestro caso el caudal es de $m_{abs} = 1,2 \text{ m}^3/\text{h}$.
- **COP de la máquina de absorción**: depende de la máquina de absorción elegida. En nuestro caso, $\text{COP} = 0,78$.
- **Temperatura de entrada y salida del suelo radiante**: sólo se usa en los meses de invierno. Vamos a fijar el valor de las temperaturas y lo que cambiaré para atender la demanda será el caudal cada mes. Sus valores son $T_{erad} = 48^\circ\text{C}$ y $T_{srad} = 38^\circ\text{C}$.

- **Caudal de suelo radiante:** se usará un caudal cada mes para atender la carga térmica correspondiente. Este caudal depende de la carga térmica y de la diferencia de temperaturas de entrada y salida del suelo radiante.
- **Demanda de frío y de calor del edificio:** se encuentra desarrollado su cálculo y sus resultados en el capítulo del cálculo de la carga térmica.

6.4. Parámetros variables.

Los parámetros variables son el caudal del circuito primario (m_1), del circuito secundario (m_2) y el caudal de agua caliente sanitaria (m_{acs}).

6.5. Incógnitas.

Las incógnitas que tenemos que obtener para las instalaciones de calefacción y climatización son prácticamente las mismas. Lo único que cambia es en el tanque de ACS, ya que al tomar en los meses de verano un valor del factor solar igual a 1, entonces la temperatura de consumo es igual a la de suministro. Por lo tanto vamos a indicar a continuación las incógnitas para los meses de calefacción, teniendo en cuenta que para los meses de verano es lo mismo pero con algunas simplificaciones.

- Temperatura de entrada a los colectores (T_{ci}).
- Temperatura de salida de los colectores (T_{co}).
- Temperatura de entrada al intercambiador de calor (T_{ice}).
- Temperatura de salida del intercambiador de calor (T_{ics}).
- Temperatura de entrada al tanque solar (T_{ici}).
- Temperatura de salida del tanque solar (T_{st}).
- Temperatura de entrada al tanque solar (T_{et}).
- Temperatura media del tanque solar (T_{t1}).
- Temperatura de entrada al tanque ACS (T_{acse}).
- Temperatura de salida al tanque ACS (T_{acss}).
- Temperatura media del tanque solar (T_{t2}).
- Temperatura de retorno del intercambiador de ACS (T_{acsr}).
- Temperatura de salida del tanque ACS hacia el consumo (T_{cons}).

- Fracción solar de ACS (f_{acs})
- Fracción solar de calefacción (f_{cal}), y en verano de climatización (f_{abs}).

6.6. Ecuaciones.

Como ya di una explicación de las ecuaciones, ahora sólo vamos a numerarlas. Como hay ligeras variaciones entre las ecuaciones de calefacción y climatización, pondremos las de calefacción que son algunas más y pondremos las variaciones que hay con respecto a las de climatización.

- Balance de energía en el intercambiador:

$$Q_{pc} = I_t \cdot A - m_1 \cdot Cp \cdot (T_{co} - T_{ci})$$

- Balance de energía en la tubería de bajada:

$$m_1 \cdot Cp_1 \cdot (T_{co} - T_{ice}) = U \cdot A \cdot \frac{(T_{co} - T_0) - (T_{ice} - T_0)}{\ln\left(\frac{T_{co} - T_0}{T_{ice} - T_0}\right)}$$

Más adelante calcularemos el valor de U.

- Balance de energía en la tubería de subida:

$$m_1 \cdot Cp_1 \cdot (T_{ics} - T_{ci}) = U \cdot A \cdot \frac{(T_{ics} - T_0) - (T_{ci} - T_0)}{\ln\left(\frac{T_{ics} - T_0}{T_{ci} - T_0}\right)}$$

- Balance de energía en el intercambiador de calor 1:

$$m_1 \cdot Cp_1 \cdot (T_{ice} - T_{ics}) = m_2 \cdot Cp_2 \cdot (T_{ico} - T_{ici})$$

- Eficiencia del intercambiador de calor 1:

$$\mathcal{E}_{ic1} = \frac{m_2 \cdot Cp_2 \cdot (T_{ico} - T_{ici})}{C_{\min} \cdot (T_{ice} - T_{ici})}$$

- Balance de energía en el tanque solar:

$$m_2 \cdot Cp_2 \cdot (T_{ico} - T_{ici}) = m_T \cdot Cp_3 \cdot (T_{st} - T_{et})$$

- Temperatura media del tanque solar:

$$T_{t1} = \frac{T_{ico} \cdot m_2 + T_{et} \cdot m_T}{m_2 + m_T}$$

- Grado de estratificación del tanque solar:

$$E_{t1} = \frac{T_{st} - T_{t1}}{T_{ico} - T_{t1}}$$

- Balance de energía en el intercambiador de calor de ACS:

$$m_{acs} \cdot Cp_{acs} \cdot (T_{st} - T_{acsr}) = m_{acs} \cdot Cp_{acs} \cdot (T_{acse} - T_{acss})$$

- Eficiencia del intercambiador de ACS:

$$\varepsilon_{ic2} = \frac{m_{acs} \cdot Cp_{acs} \cdot (T_{st} - T_{acsr})}{C_{\min} \cdot (T_{st} - T_{acss})}$$

- Balance de energía tanque ACS:

$$m_{acs} \cdot Cp_{acs} \cdot (T_{acse} - T_{acss}) = m_{cons} \cdot Cp_{cons} \cdot (T_{cons} - T_{red})$$

- Temperatura media del tanque ACS:

$$T_{t2} = \frac{T_{acse} \cdot m_{acs} + T_{red} \cdot m_{cons}}{m_{acs} + m_{cons}}$$

Esta ecuación sólo la tenemos en cuenta en calefacción, ya que para climatización no nos hace falta, ya que fijamos un factor solar de ACS de 1.

- Grado de estratificación del tanque de ACS:

$$E_{t2} = \frac{T_{cons} - T_{t2}}{T_{acse} - T_{t2}}$$

Al igual que en la ecuación anterior, sólo la tenemos en cuenta para calefacción.

- Contribución solar mínima anual de ACS:

$$f_{acs} = \frac{T_{cons} - T_{red}}{T_{sum} - T_{red}}$$

Al igual que en los casos anteriores sólo se tiene en cuenta para el caso de calefacción, ya que en los meses de verano su valor es 1.

- Contribución solar mínima de calefacción y climatización:

$$f_{abs} = \frac{T_{st} - T_{gens}}{T_{gene} - T_{gens}} \quad f_{cal} = \frac{T_{st} - T_{srad}}{T_{erad} - T_{srad}}$$

- Balance de energía en la temperatura de entrada al tanque solar:

Para calefacción: $T_{et} \cdot m_T = T_{srad} \cdot m_{cal} + T_{acsr} \cdot m_{acs}$

Para climatización: $T_{et} \cdot m_T = T_{gens} \cdot m_{acs} + T_{acsr} \cdot m_{acs}$

6.7. Consideraciones de interés.

- Como ya hemos comentado anteriormente, en los meses de verano fijamos el factor solar con un valor de 1, y toda la energía sobrante se empleará en alimentar la máquina de absorción.
- El parámetro m_T que aparece en las ecuaciones corresponde a la suma del caudal de ACS y de la máquina de absorción para climatización, y del caudal de ACS y del suelo radiante para calefacción.
- En los meses de diciembre, enero y febrero, toda la energía procedente de los colectores solares se usará para ACS, para poder cumplir con el CTE.
- Como vemos en las ecuaciones, hemos introducido las pérdidas en las tuberías. Para ello, hemos tenido que calcular las pérdidas de calor mediante un sistema de resistencias térmicas. Adjuntaremos el cálculo en el **Anexo 2** (en el apartado de programas en Mathcad) y a continuación damos el valor de la transmitancia térmica calculada mensualmente:

MES	U (W/m ² K)
Enero	2.674
Febrero	2.676
Marzo	2.679
Abril	2.675
Mayo	2.674
Junio	2.673
Julio	2.672
Agosto	2.672
Septiembre	2.668
Octubre	2.669
Noviembre	2.666
Diciembre	2.669

Tabla 6.1. Valor de la transmitancia para cada mes. (Calculado en mathcad).

- El caudal de calefacción lo he calculado teniendo en cuenta la carga térmica y la diferencia de temperaturas a la salida y a la entrada del suelo radiante. Sus valores son los siguientes:

MES	m_{cal} (kg/s)
Enero	0.416
Febrero	0.311
Marzo	0.291
Abril	0.26
Mayo	0.205
Octubre	0.198
Noviembre	0.262
Diciembre	0.299

Tabla 6.2. Caudal de calefacción para cada mes. (Cálculo hecho mediante la carga térmica y la entrada y salida de temperaturas).

6.8. Resultados mensuales.

Vamos a dar por separado los resultados para climatización y calefacción para que sea más sencillo verlos. Vamos a mostrar sólo los más importantes porque si no sería una tabla demasiado grande; si se quiere consultar los resultados enteramente se podrá acudir al Anexo 2 (en el apartado de programas en Maple).

6.8.1. Resultados calefacción.

Soluc.	<u>MES</u>							
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	OCT	NOV	DIC
T_{ci} (K)	301.821	313.190	312.651	313.763	315.500	314.369	311.088	301.64
T_{co} (K)	304.004	315.819	316.806	318.390	320.317	318.648	314.150	303.961
T_{ico} (K)	302.916	314.508	314.736	316.085	317.918	316.516	312.624	302.805
T_{ici} (K)	301.256	312.585	311.342	312.239	313.857	312.953	310.216	301.000
T_{st} (K)	302.449	313.968	313.939	315.166	316.916	315.633	312.049	302.298
T_{et} (K)	301.385	312.736	312.436	313.405	314.937	313.883	310.950	301.141
f_{cal}	-	-	0.2788	0.402	0.577	0.448	0.090	-
T_{con} (K)	301.204	312.524	312.852	314.158	315.995	314.556	310.666	300.945
f_{acs}	0.419	0.618	0.610	0.620	0.650	0.628	0.568	0.414
Q_{ptot} (W)	3875	5300	5535	5875	5690	5195	5012	4179

Tabla 6.3. Resultados para la instalación para ACS y calefacción. (Cálculos realizados en Maple).

6.8.2. Resultados climatización.

	MES			
Solución	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
T_{ci} (K)	350.589	351.819	351.486	350.509
T_{co} (K)	354.606	356.634	355.954	354.802
T_{ico} (K)	352.602	354.234	353.726	352.661
T_{ici} (K)	349.768	350.614	350.423	349.567
T_{st} (K)	351.627	352.977	352.586	351.604
T_{et} (K)	348.503	348.866	348.836	348.269
f_{abs}	0.213	0.376	0.328	0.210
f_{acs}	1	1	1	1
Q_{ptot} (W)	8940	9150	9105	9000

Tabla 6.4. Resultados para la instalación para ACS y climatización. (Cálculos realizados en Maple).

6.9. Análisis de los resultados.

6.9.1. Contribución solar mínima de ACS.

Tenemos que tener una contribución mínima mensual, exigida por el CTE por nuestra localización, de 0,7. Su cálculo no se realiza sumando las contribuciones de cada mes y dividiéndolos entre el número de meses, sino que se hace mediante la siguiente fórmula:

$$f_{media} = \frac{\sum(Q_{solar})}{\sum(Q_{ACS})}$$

Sustituyendo los valores en la fórmula obtenemos el siguiente resultado:

$$f_{media} = 0.701$$

Entra dentro de los valores del CTE, además cabe resaltar que todos los valores los hemos tenido en cuenta tomando la carga térmica máxima, luego en cada mes hemos tomado el caso más restrictivo, por lo que la contribución solar mínima se cubre con creces.

6.9.2. Climatización.

La máquina de absorción que hemos elegido, en el caso de carga térmica máxima, no tiene la potencia suficiente para mantener el edificio a la temperatura elegida. Hace falta como complemento una máquina de compresión mecánica del mismo valor o superior que la carga térmica para abastecer en el caso de no poder alimentar a la máquina de absorción.

La máquina de absorción tiene una potencia nominal de 9 KW, y la máxima carga térmica que tengo en el edificio es en el mes de julio con $Q_{\text{clim}} = 10950 \text{ W}$.

6.9.3. Pérdidas en el colector.

En la instalación con suelo radiante y climatización se obtienen unas pérdidas mayores en algunos meses (excepto en marzo, abril, mayo, julio, agosto y octubre), ya que normalmente la temperatura de entrada en el colector es mayor que cuando sólo se tiene una instalación de ACS. Pero en nuestra instalación, al tener un consumo de ACS muy bajo, se acumulaban unas temperaturas medias altas, por eso en algunos meses sólo con ACS la temperatura era mayor.

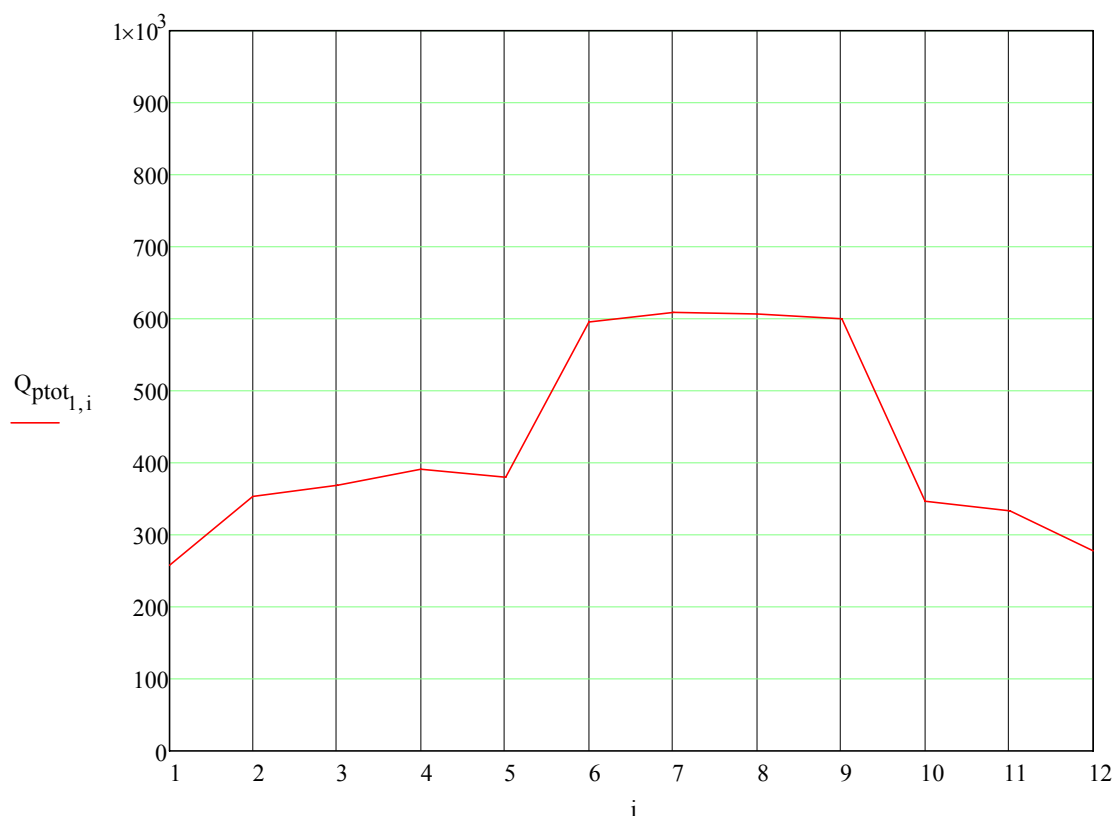


Ilustración 6.2. Gráfica de pérdidas de calor (W) en el colector para ACS, calefacción y climatización en cada mes.

Observamos en la gráfica un aumento muy pronunciado de las pérdidas en los meses de verano, ello es consecuencia del uso de la máquina de absorción que eleva mucho la temperatura en los meses de junio y septiembre, por lo que el salto de pérdidas de los meses de verano a invierno es muy elevado.

6.9.4. Rendimiento.

A continuación mostramos la gráfica del rendimiento de los colectores solares:

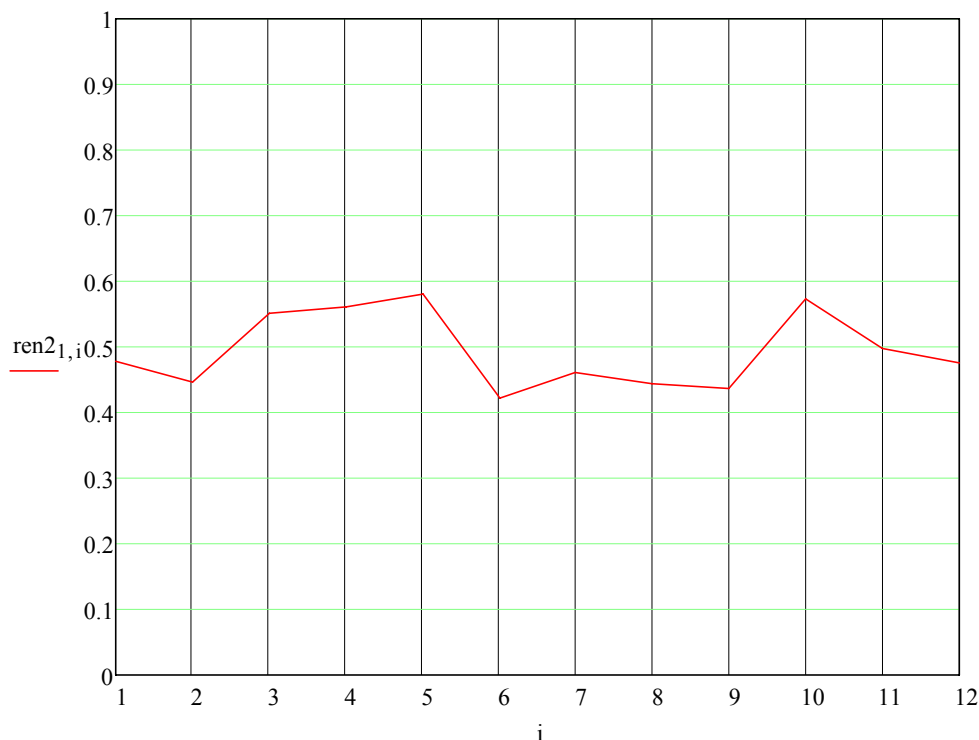


Ilustración 6.3. Gráfica del rendimiento del colector para ACS, calefacción y climatización en cada mes.

Vemos que es una gráfica muy caótica, ello es consecuencia del uso de la máquina de absorción, del suelo radiante y de las pérdidas del intercambiador. Podemos ver cómo en los meses de verano, debido a la alta temperatura del fluido a los colectores, el rendimiento es bajo. En los meses de octubre y mayo, el rendimiento sube bastante ya que las temperaturas de entrada no son muy altas debido al suelo radiante. Y también podemos observar una gran bajada en los meses de enero, febrero y diciembre ya que, aunque no usan el suelo radiante, tenemos un gran número de colectores y un bajo consumo de ACS por lo que se acumula energía en el acumulador.

6.10. Consideraciones finales.

- Se cumple con lo indicado en el CTE.
- En los meses de diciembre, enero y febrero no utilizaremos la instalación solar para uso de suelo radiante.
- Se consigue un factor solar de climatización en el mes de julio de 0.376. Y un factor solar de calefacción en el mes de mayo de 0.577.
- El rendimiento baja mucho en los meses de junio a septiembre por el uso de la máquina de absorción.
- Al tomar valores medios en la instalación y extremos para la carga térmica se conseguirán valores mucho mejores en general. Al hacerlo así, estamos viendo cómo se comporta la instalación en los casos extremos. Ya que los valores extremos se producen sólo en momentos puntuales.
- En los meses de verano la demanda energética de ACS está totalmente cubierta.
- El caudal de ACS óptimo en los meses de invierno es de $m_{acs} = 0.65 \text{ kg/s}$.



CAPÍTULO 7

DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN

7.1. Introducción.

En este apartado expondremos las dimensiones de los elementos usados en la instalación, explicando en los casos que sea necesario el porqué de su elección. La descripción de los elementos será breve, ya que su uso está explicado en un capítulo anterior y en anexos pondremos los datos del componente elegido.

7.2. Circuito primario.

7.2.1. Colectores solares.

Vamos a utilizar 15 colectores solares de la **marca Ibersolar, modelo OPS-V210**.

El captador plano vertical OPS-V210 posee un absorbedor de aluminio con recubrimiento selectivo (Mirotherm) con tubos verticales de cobre en disposición de parrilla, unidos al absorbedor con soldadura láser. Se ofrece con un área de 2.09 m² de superficie. Están disponibles para sistemas de circulación natural y forzada.



Ilustración 7.1. Colectores solares. (Fuente: Ibersolar).

7.2.2. Fluido caloportador.

El fluido caloportador utilizado es una mezcla de agua y propilenglicol como mínimo al 36%. Ya que en Albacete se alcanzan temperaturas muy bajas, y se necesita como protección contra heladas.

Utilizaremos una **mezcla de agua y propilenglicol al 40%** proporcionada por **Ibersolar**. Viene ya mezclado con agua y se le denomina **Tyfocor L**. Es miscible con agua y dependiendo de la concentración, puede llegar a prevenir el congelamiento hasta los -50°C y su punto de ebullición está por encima de los 150°C . Tyfocor L es un fluido no tóxico, incoloro e higroscópico. Basado en 1,2-propilenglicol, es una sustancia toxicológicamente inofensiva. Se trata de un fluido libre de nitrilos.

7.2.3. Tuberías.

Las tuberías que usaremos son de cobre, de diámetro exterior aproximado de 22 mm. Usaremos aproximadamente 40 m de tubería de la marca **Technitub del modelo TB-7/8''**.

7.2.4. Aislante.

Como aislante usaremos 40 mm de espuma elastomérica de la marca **L'ISOLANTE K-FLEX modelo DUCT NET**. El espesor tiene que ser de 40 mm porque el RITE nos dice:

Tabla 1.2.4.2.2: Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el exterior de edificios

Diámetro exterior (mm)				Temperatura máxima del fluido ($^{\circ}\text{C}$)		
				40...60	> 60...100	> 100...180
	D	\leq	35	35	35	40
35	<	D	\leq 60	40	40	50
60	<	D	\leq 90	40	40	50
90	<	D	\leq 140	40	50	60
140	<	D		45	50	60

Tabla 7.1. Espesor mínimo de aislamiento en tuberías. (Fuente: RITE).

Nuestro caso es, diámetro exterior menor de 35 mm y temperatura máxima del fluido de 100°C , pero al ser una instalación de ACS, hay que sumarle 5 mm más, por lo que necesitamos 40 mm.

7.2.5. Intercambiador de calor del circuito primario.

Para el cálculo del intercambiador, tenemos en cuenta la potencia mínima que debe tener, dada por el CTE, y el caudal en el primario y en el secundario, para tener en cuenta la capacidad. La potencia la obtenemos de la siguiente forma:

- Potencia del intercambiador:

Para el cálculo de la potencia del intercambiador, el CTE nos dice: para el caso de intercambiador independiente, la potencia mínima del intercambiador P , se determinará para las condiciones de trabajo en las horas centrales del día suponiendo una radiación solar de 1000 W/m^2 y un rendimiento de la conversión de energía solar a calor del 50 %, cumpliéndose la condición:

$$P \geq 500 \cdot A$$

Siendo

P potencia mínima del intercambiador [W];
 A el área de captadores [m^2].

Por lo tanto, la potencia mínima del intercambiador será de:

$$P = 15682 \text{ W}$$

Elegimos un intercambiador de placas de la marca **Viessmann Visotrans 100, modelo PWT 3003 489** con capacidad para 1,14 litros en el primario y 1,20 litros en el secundario.



Ilustración 7.2. Intercambiador de calor. (Fuente Viessmann).

El intercambiador registra una pérdida de carga de 25 mbar entre el primario y el secundario.

7.2.6. Bomba de circulación del primario.

Para el cálculo de la potencia en la bomba necesitamos conocer la pérdida de carga y el caudal, ya que es función de estas variables:

$$W = f(\Delta p \cdot Q)$$

El caudal lo conocemos, ya que es el caudal que pasa por cada colector por el número de colectores, por lo tanto el caudal es $Q = 0.4229 \text{ kg/s}$.

Más complicado es el cálculo de la pérdida de carga, ya que tenemos que calcular la pérdida en todos los componentes por los que pasa el fluido que acciona la bomba. Tenemos que calcular la pérdida de carga en los colectores, las tuberías, el intercambiador de calor y en las conexiones que haya en las tuberías.

7.2.6.1. Cálculo de las pérdidas de carga.

- Colectores:

El fabricante del colector nos da una gráfica con la pérdida de carga del colector en función del caudal.

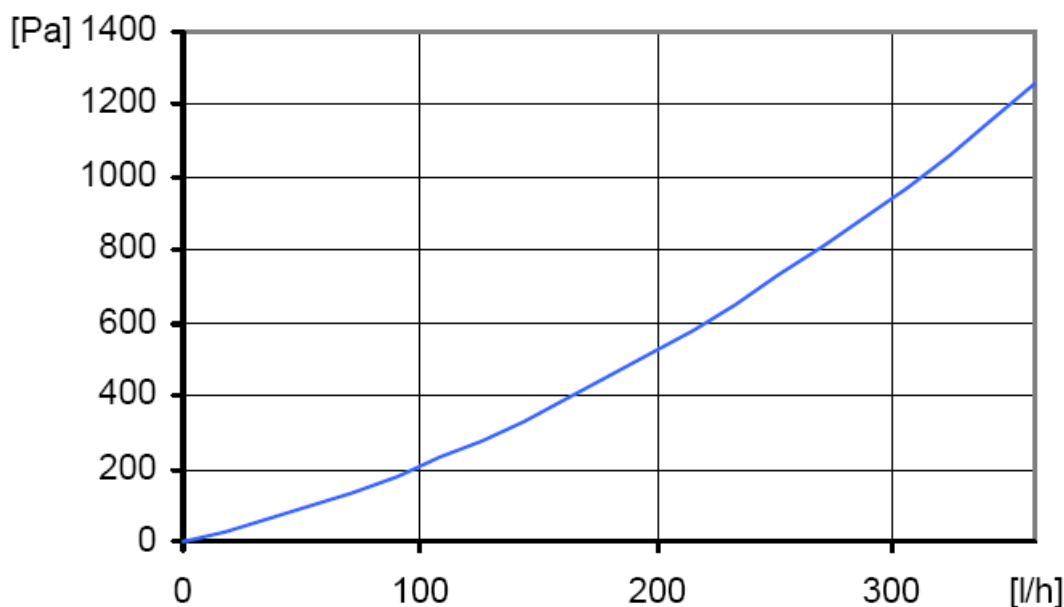


Ilustración 7.3. Gráfica de caída de presión en el colector en función del caudal. (Fuente: SPF).

Para nuestro caudal, 100 l/h, tenemos una caída de presión de 200 Pa, que corresponde a 20 mm ca. Como tenemos 15 colectores, tendremos una pérdida de carga de 300 mm ca.

$$\Delta p_{\text{colectores}} = 300 \text{ mm ca}$$

- Tuberías:

Como sabemos que la tubería es de cobre, el caudal es de 0.4166 l/s y el diámetro interior es de 21 mm entonces la pérdida de carga la podemos hallar mediante la siguiente gráfica:

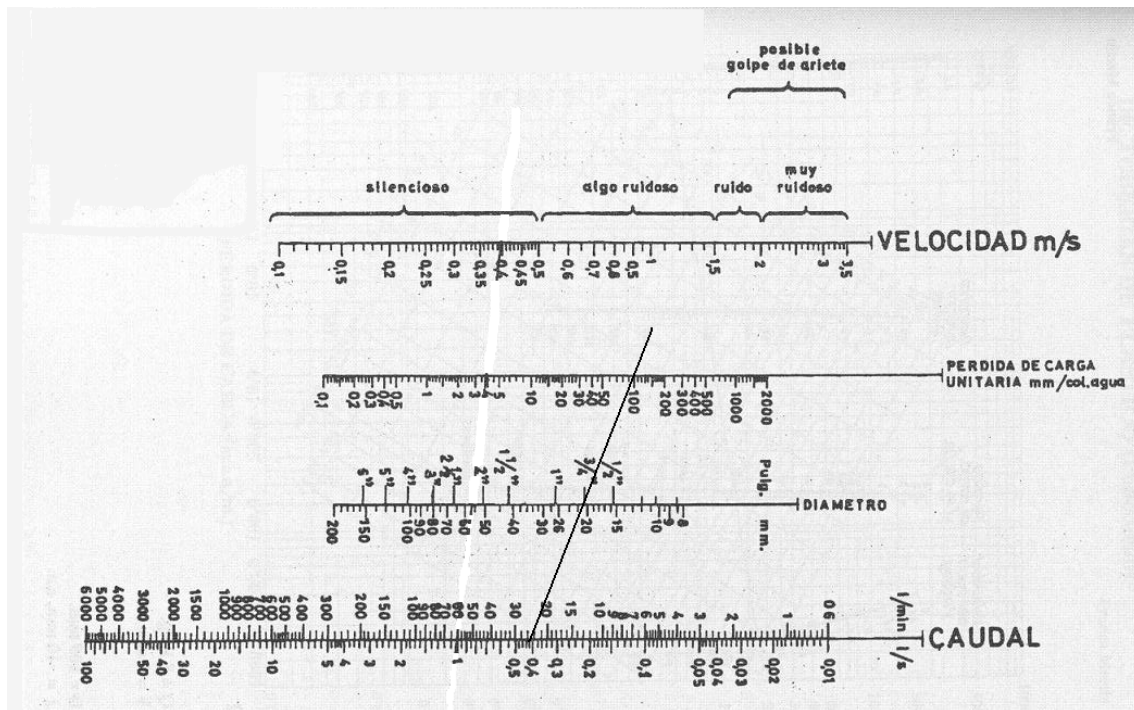


Ilustración 7.4. Gráfica de ábaco para el cálculo de tuberías de cobre.

Con el resultado de la gráfica y sabiendo que tenemos 40 metros de tubería ya podemos calcular la pérdida de carga.

$$\Delta p_{\text{tubería}} = 100 \frac{\text{mmca}}{\text{m}} \cdot 40 \text{ m} = 4000 \text{ mmca}$$

- Pérdidas localizadas:

Las pérdidas localizadas por lo general suelen ser menores a la pérdida en la tubería, a excepción de casos como una válvula parcialmente cerrada y giros bruscos. Como una aproximación, y para sobredimensionar la bomba, ya que con el tiempo aumenta la rugosidad, vamos a suponer una pérdida de carga del 70% del que sufre la tubería.

$$\Delta_{\text{pérdidas localizadas}} = 2800 \text{ mm ca}$$

- Pérdida de carga en el intercambiador de calor:

Viene determinada por el fabricante mediante la siguiente gráfica:

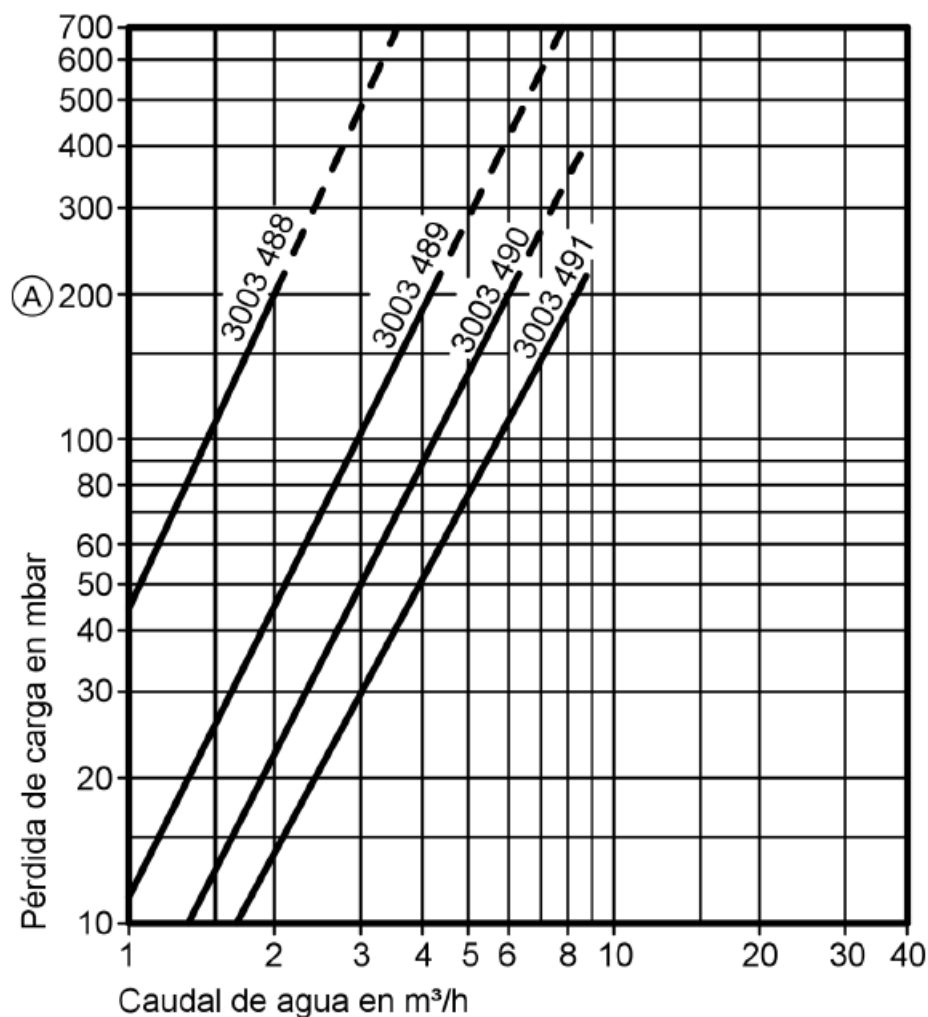


Ilustración 7.5. Gráfica de pérdida de carga en el intercambiador de calor. (Fuente: Viessmann).

Como nuestro intercambiador es el 3003 489, nuestro caudal es 1.5 m³/h entonces la pérdida de carga es de 25 mbar. Por lo tanto:

$$\Delta_{\text{intercambiador}} = 250 \text{ mm ca}$$

- Pérdida de carga total:

Sumando las pérdidas de los distintos elementos obtenemos la pérdida de carga total:

$$\Delta p_{\text{total}} = 7350 \cdot \text{mmca} \cdot \frac{1 \cdot \text{Pa}}{0.1 \cdot \text{mmca}} = 73500 \cdot \text{Pa}$$

7.2.6.2. Calculo de la potencia de la bomba.

Con estos valores ya podemos calcular la pérdida de carga con la siguiente fórmula:

$$W_{\text{bomba}} = \frac{m_{\text{fluido}} \cdot \Delta p}{\rho_{\text{fluido}} \cdot \eta}$$

Teniendo en cuenta que el rendimiento de las bombas para ACS suele ser muy bajo, tomamos aproximadamente un 30%, la pérdida de carga obtenida es la siguiente:

$$W_{\text{bomba}} = \frac{0.4229 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 73500 \cdot \text{Pa}}{1015 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0.30} = 102 \cdot \text{W}$$

La bomba elegida es de la marca **WILO**, **modelo TOP-S 30/10 PN 10** capaz de dar 180 W de potencia.



Ilustración 7.6. Bomba de circulación. (Fuente: WILO).

7.2.7. Vaso de expansión del primario.

Debido a los diferentes métodos que existen para el cálculo de las dimensiones del vaso de expansión, y ya que la sobredimensionalización de éste es muy importante desde el punto de vista de la seguridad, voy a tomar un volumen del vaso correspondiente al 80% del volumen de fluido de la instalación.

$$V_{inst} = V_{tubos} + V_{colectores} + V_{intercambiador}$$

$$V_{tubos} = 13,85 \cdot l$$

$$V_{colectores} = 20,4 \cdot l$$

$$V_{intercambiador} = 1,14 \cdot l$$

Por lo tanto, el volumen del vaso de expansión será de cómo mínimo:

$$V_{vaso} = 0,80 \cdot 35,39 \cdot l = 28,31 \cdot l$$

Elegimos un vaso de expansión de la **marca Ibersolar de 35 l** para aumentar el grado de seguridad.



Ilustración 7.7. Vaso de expansión. (Fuente: Ibersolar).

7.3. Circuito secundario.

7.3.1. Tanque de almacenamiento solar.

Según el CTE el sistema solar se debe concebir en función de la energía que aporta a lo largo del día y no en función de la potencia del generador (captadores solares), por tanto se debe prever una acumulación acorde con la demanda al no ser ésta simultánea con la generación.

Para la aplicación de ACS, el área total de los captadores tendrá un valor tal que se cumpla la condición:

$$50 < \frac{V}{A} < 80$$

Siendo:

- A la suma de las áreas de los captadores [m²];
- V el volumen del depósito de acumulación solar [litros].

Por lo tanto el volumen estará comprendido entre:

$$1568 \cdot l < V(l) < 2509 \cdot l$$

Elegiremos un tanque de la **marca Ibersolar, modelo Vitroflex de 2000 l**, que cumple con las demandas necesarias.



Ilustración 7.8. Tanque de almacenamiento solar. (Fuente: Ibersolar).

7.3.2. Bomba de circulación del circuito secundario.

Los cálculos a realizar son similares a los realizados para el cálculo de la bomba del circuito primario. En este caso las pérdidas de carga se producen en tuberías, intercambiador y tanque de acumulación. Para el cálculo de la potencia en la bomba necesitamos conocer la pérdida de carga y el caudal, ya que es función de estas variables:

$$W = f(\Delta p \cdot Q)$$

El caudal lo conocemos, ya que es el mismo que pasa por el circuito primario, teniendo en cuenta la densidad $Q = 0.4229 \text{ kg/s}$.

7.3.2.1. Cálculo de las pérdidas de carga.

- Pérdidas en las tuberías:

El cálculo es el mismo que en el circuito primario, ya que se tiene el mismo caudal volumétrico y el mismo diámetro interno de las tuberías, solo cambia la longitud de las tuberías que es de aproximadamente 2 metros, por lo tanto:

$$\Delta p_{\text{tubería}} = 100 \frac{\text{mmca}}{\text{m}} \cdot 2\text{m} = 200\text{mmca}$$

- Pérdidas localizadas:

Las pérdidas localizadas por lo general suelen ser menores a la pérdida en la tubería, a excepción de casos como una válvula parcialmente cerrada y giros bruscos. Como una aproximación, y para sobredimensionalizar la bomba, ya que con el tiempo aumenta la rugosidad, vamos a suponer una pérdida de carga del 70% del que sufre la tubería.

$$\Delta p_{\text{pérdidas localizadas}} = 140 \text{ mm ca}$$

- Pérdida de carga en el intercambiador:

El cálculo es el mismo ya que el caudal volumétrico es casi el mismo en los circuitos, luego:

$$\Delta p_{\text{intercambiador}} = 250 \text{ mm ca}$$

- Pérdida de carga en el tanque de almacenamiento:

Vamos a suponer en el tanque de almacenamiento una pérdida de carga de un 30% ya que desconocemos su valor.

$$\Delta p_{\text{tanque}} = 177 \text{ mm ca}$$

- Pérdida de carga total:

Sumando las pérdidas de los distintos elementos obtenemos la pérdida de carga total:

$$\Delta p_{\text{total}} = 767 \cdot \text{mmca} \cdot \frac{1 \cdot \text{Pa}}{0.1 \cdot \text{mmca}} = 7670 \cdot \text{Pa}$$

7.3.3.2. Cálculo de la potencia de la bomba.

Con estos valores ya podemos calcular la pérdida de carga con la siguiente fórmula:

$$W_{\text{bomba}} = \frac{m_{\text{fluido}} \cdot \Delta p}{\rho_{\text{fluido}} \cdot \eta}$$

Teniendo en cuenta que el rendimiento de las bombas para ACS suele ser muy bajo, tomamos aproximadamente un 30%, la pérdida de carga obtenida es la siguiente:

$$W_{bomba} = \frac{0.4166 \cdot \frac{kg}{s} \cdot 7670 \cdot Pa}{1000 \cdot \frac{kg}{m^3} \cdot 0.30} = 10,65 \cdot W$$

La bomba elegida es de la **marca WILO, modelo STAR ST 25/4**, que alcanza potencias de hasta 17 W.



Ilustración 7.9. Bomba de circulación. (Fuente: WILO).

7.3.3. Vaso de expansión en el circuito secundario.

No es necesario, ya que disponemos de un tanque ligeramente sobredimensionado, por lo que las expansiones producidas serán absorbidas por el tanque acumulador. En ocasiones dadas las dificultades para realizar esta maniobra se puede usar un vaso de expansión externo.

7.4. Circuito terciario.

7.4.1. Intercambiador de calor para el circuito de ACS.

En el intercambiador de ACS vamos a utilizar el mismo que para el circuito primario, ya que cumple con los requisitos de potencia y de capacidad.

Elegimos un intercambiador de placas de la marca **Visotrans 100, modelo PWT 3003 489** con capacidad para 1,14 litros en el primario y 1,20 litros en el secundario.

7.4.2. Tanque de almacenamiento para ACS.

Para el cálculo de las dimensiones de este tanque tenemos que tener en cuenta el caudal máximo y el período de punta para que el volumen escogido pueda cumplir con la demanda de ACS necesaria. Para poder calcular el volumen necesitamos calcular los siguientes parámetros:

- Caudal máximo:

En capítulos anterior, dimos la demanda total de ACS diaria que necesitaba nuestra instalación, esta demanda tiene un valor de 462 l/día. Pero este caudal es el consumido durante todo el día, hay que tener en cuenta que el caudal instantáneo demandado por la instalación de ACS varía de forma extremadamente brusca de un instante a otro. El consumo máximo diario en el caso de edificios de vivienda representa el 75% del consumo total en un día y tiene lugar entre las 17 y las 20 horas.

$$Q_{\max} = Q_d \cdot 0,75 = 346,5 \text{ l/día}$$

- Periodo de punta:

También se debe calcular un periodo de punta durante el cual se produce el máximo consumo diario, la forma de calcularlo es la siguiente:

$$T = 5 \cdot \frac{N^{0,905}}{15 + N^{0,920}}$$

Siendo N el número de viviendas, como en nuestro caso es 10, el periodo de punta será:

$$T = 1,72 \text{ horas}$$

- Coeficiente de simultaneidad:

Tenemos que tener en cuenta un coeficiente de simultaneidad, éste será función del número de viviendas, y se calcula de la siguiente forma:

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{N-1}} + 0,17$$

Siendo N como en el caso anterior el número de viviendas, por lo que el factor de simultaneidad será:

$$\varphi = 0,5$$

- Caudal máximo horario:

Con estos valores ya podemos calcular el caudal máximo horario medio en el periodo de máximo consumo:

$$C_{\max} = \frac{Q_{\max} \cdot \varphi}{3600} = 0,048 \cdot \text{l/s}$$

- Volumen del tanque de almacenamiento:

Una vez calculados estos parámetros ya podemos calcular el volumen necesario. Pero antes tenemos que definir un factor de mezcla y un factor de forma, como aun no tenemos las medidas del tanque daremos un valor aproximado y luego comprobaremos si se cumple:

- Factor de forma: se calcula de la siguiente forma:

$$f_f = \frac{H}{D}$$

Como no conocemos los datos del acumulador, daremos un valor inicial aproximado de 2,5

- Factor de mezcla: su valor depende del factor de forma, y para el valor anteriormente dado, obtenemos el siguiente valor $f_m = 0,98$.

Ya con todos estos parámetros podemos calcular el volumen del acumulador de la siguiente manera:

$$V_u = \frac{C_{\max} \cdot T}{1 + \frac{T}{tp} \cdot \frac{1}{f_m}}$$

Donde, tp , es el tiempo de preparación, que tomándolo para un valor de 2, da un valor del volumen útil de:

$$V_u = 158,3 \text{ l}$$

Por lo tanto para hallar el valor final del tanque, usaremos el volumen útil y el factor de mezcla, por lo que el volumen del tanque queda:

$$V = \frac{V_u}{f_m} = 161,53 \cdot l$$

Para ese volumen, utilizaremos un tanque de la **marca Ibersolar, modelo Ready DST con una capacidad de acumulación de 200 l**.



Ilustración 7.10. Tanque de almacenamiento para ACS. (Fuente: Ibersolar).

7.4.3. Caldera auxiliar.

Para el cálculo de la caldera, tenemos que tener en cuenta que hay que dimensionarla para el caso más desfavorable de calefacción + ACS o de climatización + ACS, ya que la usamos para las tres aplicaciones. Tenemos que ver que para que mes necesitamos la mayor potencia y será esa la potencia que deberá tener nuestra caldera.

La situación más desfavorable, hablando solo de ACS, se produce en los meses de enero y diciembre, ya que el agua de la red está a la misma temperatura, luego tendremos que ver cuál es la contribución conjunta que necesita la caldera para abordar el suelo radiante y el ACS.

En cuanto a los meses de verano, tendremos solo en cuenta el mes de septiembre, ya que en todos los meses de verano la máquina de absorción es necesaria en su totalidad y en el mes de septiembre el agua de la red es menos.

Calculamos a continuación la potencia necesaria para ACS en los meses de diciembre, enero y febrero.

$$P_{\text{diciembre}} = 4,48 \text{ KW}$$

$$P_{\text{enero}} = 4,48 \text{ KW}$$

$$P_{\text{septiembre}} = 3,996 \text{ KW}$$

Ahora calculamos la potencia que necesita la caldera para abordar la demanda para climatización y calefacción. Será calefacción mediante suelo radiante en los meses de diciembre y enero y climatización mediante máquina de absorción en el mes de septiembre:

$$P_{\text{diciembre}} = 12,495 \text{ KW}$$

$$P_{\text{enero}} = 17,385 \text{ KW}$$

$$P_{\text{enero}} = 11,536 \text{ KW}$$

Luego la mayor potencia se dará en el mes de enero, con un valor de:

$$P_{\text{max}} = 21,865 \text{ KW}$$

Pero además de la demanda de ACS y calefacción, tenemos que tener en cuenta las posibles pérdidas en la red de distribución, que se pueden considerar aproximadamente como $0,3 \times P$, por lo tanto la potencia útil será:

$$P_{\text{útil}} = 31,235 \text{ KW.}$$

Y teniendo en cuenta el rendimiento de la caldera, que podemos aproximar a 0,9, entonces la potencia mínima de la bomba será de:

$$P_{\text{bomba}} = 36,75 \text{ KW}$$

Utilizaremos una caldera de la marca **ACV modelo delta performance 45**, que nos da potencias de hasta 40,5 KW.



Ilustración 7.11. Caldera auxiliar. (Fuente: ACV).

7.4.4. Máquina de absorción.

La máxima carga térmica que tenemos se produce en el mes de julio, con un valor de 10,95 KW, en este proyecto vamos a instalar una máquina de absorción que cubre casi toda la demanda de climatización. También tenemos que dimensionar una máquina de compresión mecánica que de toda la demanda de climatización para los momentos en los que la energía solar no pueda abastecer la máquina de absorción.

Utilizaremos una máquina de absorción de la marca **SONNEKLIMA modelo suninverse de 9KW** de potencia.

7.4.5. Máquina de compresión mecánica.

Utilizaremos una de 12,6 KW, de la marca **FER España modelo ONE 42**, para cubrir los casi 11 KW de carga térmica que se necesitan en Julio. Tenemos que utilizar una máquina de compresión mecánica que cubra toda la demanda por si la instalación solar no tiene capacidad para alimentar a la máquina de absorción.

7.4.6. Suelo radiante.

Utilizaremos el suelo radiante de la **marca BARBI**. Los componentes necesarios para el funcionamiento del suelo radiante vienen suministrados por la empresa que hace el montaje, Industrial BLANSOL S.A.



Ilustración 7.12. Suelo radiante. (Fuente: Industrial BLANSOL).

7.4.7. Sistemas de regulación, de control y de monitorización.

También tendremos que disponer de estos sistemas para el control de la instalación. Usaremos sistemas de regulación, monitorización y control de la **marca Sumiserán S.L, modelo RD MU/7.**



Ilustración 7.13. Sistema de regulación y control. (Fuente: Sumiserán).

7.4.8. Bombas en el circuito terciario.

Para las bombas en el circuito terciario, las destinadas exclusivamente al ACS, aunque el fluido tiene un recorrido similar, el caudal es mayor, por lo que cogeremos una bomba algo más grande para obtener la potencia necesaria.

Las bombas elegidas son de la marca **WILO**, modelo **STAR ST 25/6**, que alcanzan potencias de hasta 37 W.



Ilustración 7.14. Bomba de circulación. (Fuente: WILO).



CAPÍTULO 8

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

8.1. Introducción.

En este apartado del proyecto vamos a dar una breve explicación de los principales contaminantes y sus consecuencias para la naturaleza y para el ser humano. Además obtendremos el ahorro de emisiones de CO₂ que conseguimos al tener una instalación solar, ya

que ahorramos una alto porcentaje de gas natural en la caldera para la producción de agua caliente sanitaria, también se ahorra una parte de gas en la caldera para la calefacción mediante el suelo radiante y ahorramos parte de la electricidad que usaría una máquina de compresión mecánica por usar la máquina de absorción, que consigue parte de la energía necesaria mediante los colectores solares.

Con el uso de las energías renovables es posible reducir la emisión de contaminantes, tanto los que provocan el efecto invernadero, como los que provocan la destrucción de la capa de ozono. Además de otros que provocan otros efectos que comentaremos más adelante.

Sólo vamos a comentar las emisiones de CO_2 porque son las más importantes, las otras se producen en mucha menor medida, además como usamos en nuestra caldera gas natural, no se producen prácticamente emisiones de SO_x . Sí se producirán de NO_x y de CO pero en una concentración muy pequeña. Con el ahorro de electricidad gracias a la máquina de absorción conseguiremos un ahorro de emisiones también de SO_x , pero también bastante menor que el ahorro de CO_2 .

Con relación a España, mantiene desde hace tres lustros un notorio crecimiento del consumo de energía y de la intensidad energética. Nuestra creciente y excesiva dependencia energética exterior, cercana al 80% en los últimos años, y la necesidad de preservar el medio ambiente y asegurar un desarrollo sostenible, obligan al fomento de fórmulas eficaces para un uso eficiente de la energía y la utilización de fuentes limpias. Por tanto, el crecimiento sustancial de las fuentes renovables, junto a una importante mejora de la eficiencia energética, responde a motivos de estrategia económica, social y medioambiental, además de ser básico para cumplir los compromisos internacionales en materia de medio ambiente, como el protocolo de Kioto y el de Montreal.

Comentaremos a continuación, el efecto más importante del CO_2 , contaminante principal del que reducimos las emisiones por medio de las energías renovables. Más adelante comentaremos otros contaminantes y sus posibles efectos.

8.2. El efecto invernadero.

El efecto invernadero consiste en la absorción, por parte de gases que se encuentran en las capas bajas de la atmósfera, de la radiación infrarroja procedente de la tierra, transformándola en calor. De toda la radiación procedente del sol, el 30% es reflejado al espacio

y el 70% restante calienta la materia y ésta emite por ese calentamiento radiación infrarroja, que es la que es absorbida por los gases. De esta forma se forma una capa protectora de calor que origina temperaturas templadas en la superficie terrestre, al impedir su enfriamiento. Este fenómeno es el utilizado en los invernaderos.

Las consecuencias de un aumento del efecto invernadero no se conoce con exactitud. Sin embargo existen estudios y datos que parecen indicar un consecuente aumento de la temperatura media de la atmósfera.

El principal causante del efecto invernadero es el CO_2 , pero además también contribuyen a este efecto otra serie de contaminantes. A continuación mostramos la contribución relativa de cada uno de ellos a excepción del agua:

Gas	Contribución
CO_2	55%
CH_4	15%
N_2O	4%
CFC_s	21%
O_3 troposférico	2%
Otros	3%

Tabla 8.1. Contribución de contaminantes al efecto invernadero. (Fuente: apuntes de Ingeniería Ambiental).

Para combatir el gran aumento de emisiones de gases de efecto invernadero se estableció el **Protocolo de Kioto**.

8.2.1. El Protocolo de Kioto.

El Protocolo de Kioto, acuerdo adoptado en diciembre de 1997 en la 3ª Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, establece en algo más de un 5% la reducción global de las emisiones de los seis principales

gases de efecto invernadero (GEI) en el período de compromiso 2008-2012 respecto a los valores de 1990. Los objetivos individuales de reducción de las emisiones de GEI por países se determinaron teniendo en cuenta la necesidad de mantener un crecimiento económico sostenible, así como la disponibilidad de tecnologías en cada uno de los Estados, de tal forma que, para la Unión Europea, el objetivo de reducción quedó establecido en el 8%, para EE.UU. en el 7% y para Japón en el 6%.

La Convención Marco sobre Cambio Climático y el Protocolo de Kioto, que ha entrado en vigor el presente año (el artículo 25 del mismo establece que éste entraría en vigor una vez fuera sido ratificado por, al menos, un número de países cuyas emisiones totales representaran, por lo menos, el 55% del total de las emisiones de dióxido correspondientes a 1990), han reconocido expresamente lo que se ha dado en llamar la *burbuja comunitaria*, dentro de la cual España tiene limitado el crecimiento de las emisiones de los seis gases de efecto invernadero considerados en el Protocolo en un 15% en el período de referencia 2008-2012 respecto a las emisiones de 1990. De acuerdo con las cifras del inventario de gases de efecto invernadero correspondiente a 2002, el aumento de las emisiones superaba ya a finales de ese año el 39%. Con independencia del régimen sancionador diseñado para todas las Partes firmantes del Protocolo, los Estados europeos están sometidos a la disciplina comunitaria y deben asegurar el cumplimiento de los acuerdos alcanzados en las instituciones de la Unión Europea.

8.3. Principales contaminantes.

Los principales contaminantes los podemos dividir en tres tipos, los primarios, los secundarios y los que tienen un comportamiento híbrido:

8.3.1. Primarios.

Son los producidos por la acción del hombre, son los siguientes:

- CO_2 : se trata de un gas esencial para la vida, pero su gran abundancia le hace tener que ser considerado como un contaminante. Es emitido de forma natural y también como producto de la combustión. Es el principal causante del efecto invernadero a excepción del vapor de agua.
- CO : es un gas incoloro e inodoro. Es muy tóxico e incluso mortal si la concentración es alta.
- Hidrocarburos inquemados (CH_4) o parcialmente quemados (RHC, RCOH).
- Partículas (hollín, cenizas).
- Óxidos de azufre: SO_x (SO_2 , SO_3).
- Óxidos de nitrógeno: NO_x (NO , NO_2), N_2O .

8.3.2. Secundarios.

Producidos en la atmósfera a posteriori por reacción química o fotoquímica.

- Ozono (O_3): por descomposición del NO_2 y posterior unión del oxígeno mediante un catalizador.
- Nitrato peroxiacetilico (PAN).

8.3.3. Comportamiento híbrido.

- NO_2 : se forma en la atmósfera a partir de NO en presencia de hidrocarburos y por la radiación solar.
- $RCOH$ y CO : se forman también por oxidación de los hidrocarburos inquemados.

8.4. Principales efectos de los contaminantes.

- Reducen la visibilidad: provocado por las partículas y el NO_2 .
- Aumentan la niebla y la lluvia: el SO_2 forma gotas de ácido sulfúrico que sirven como punto de nucleación.
- Lluvia ácida: el SO_x y el NO_x se transforman en ácidos que se disuelven en agua fácilmente y caen en forma de lluvia que contamina lagos y terrenos.
- Destrucción de la clorofila: SO_2 , PAN, C_2H_4 .
- Efecto invernadero: absorben radiación infrarroja y contribuyen al calentamiento de la tierra, como comenté anteriormente producido en su mayoría por CO_2 , H_2O , CH_4 , N_2O ...
- Suciedad y corrosión:
 - Hollín y cenizas: ensucian edificios y estructuras.
 - Partículas alcalinas con azufre: corroen la pintura y los contactos eléctricos.
 - Ozono: ataca el caucho.
- Efectos sobre la salud:
 - SO_2 + partículas (SMOG de Londres): puede causar bronquitis y enfisema.
 - SMOG fotoquímico (O_3 + nitratos orgánicos): causa irritación en los ojos.

- CO: afecta a la salud y puede resultar mortal.
- Destrucción de ozono de la estratosfera (>15 Km): la presencia de radicales (OH, NO, Cl) en la estratosfera destruye el ozono.

La emisión de muchos de estos contaminantes se pueden reducir mediante la utilización de las energías renovables, por lo que se evitarían muchos de los efectos anteriormente expuestos.

8.5. Ahorro de emisiones de CO₂.

El ahorro de emisiones vamos a realizarlo según la aplicación, ya que la contribución de la instalación solar es diferente para ACS, calefacción y climatización.

El ahorro también dependerá del tipo de fuente de energía empleada, ya que con la electricidad se emite más cantidad de CO₂ que con el gas natural. En este proyecto se emplea una caldera a gas natural y una máquina de compresión mecánica que funciona con electricidad, luego tendremos que saber las emisiones de CO₂ que se producen con esas fuentes de energía:

Gas natural: 0,204 kg CO₂/kWh

Electricidad: 0,649 kg CO₂/kWh

Fuente: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía IDAE.

8.5.1. Ahorro de emisiones para ACS.

Para el cálculo de las emisiones, tenemos que obtener los kWh anuales de ACS. Para ello tenemos que ver la contribución de la demanda de ACS durante todo el año. Para ello vamos a hallar los cálculos por meses, ya que el consumo y las horas que estará la caldera funcionando varía para cada mes. El procedimiento a utilizar para hallar los kWh será el siguiente:

$$\text{Demanda de energía anual} = m_i \cdot C_p \cdot (T_{\text{sum}} - T_{\text{redi}}) \cdot \text{días del mes} \cdot \text{horas de sol} \cdot \text{Segundos (J)}$$

De esta forma, hallamos los Julios que demanda en cada mes el agua caliente sanitaria, donde:

- $m_i \cdot C_p(T_{sum} - T_{redi})$: es la potencia instantánea necesaria, siendo m_i el caudal por mes en kg/s, T_{sum} la temperatura de suministro (60°C) y T_{redi} la temperatura de la red cada mes.
- Días del mes: los días que tiene cada mes.
- Horas de sol: el número de horas de sol de cada mes.
- Segundos: para eliminarlos de la ecuación.

Una vez tenemos la demanda en Julios, lo podemos pasar a kWh de la siguiente manera:

$$Demanda(kWh) = Demanda(J) \cdot 10^{-3} \cdot \frac{kJ}{J} \cdot \frac{1 \cdot kWh}{3600 \cdot kJ}$$

Luego de esta manera podemos obtener los kWh mensuales, que al sumarlos obtenemos la demanda anual de ACS.

Haciendo los cálculos obtenemos el siguiente resultado para la demanda usando solo la caldera y la demanda con el uso de los colectores solares:

Demanda ACS solo con caldera: 10009,954 kWh

Demanda ACS cubierta por la instalación solar: 7016,98 kWh

Por lo tanto el ahorro de CO₂ anual por el uso de las placas solares es el siguiente:

$$\text{Ahorro CO}_2 = 7016,98 \cdot 0,204 \text{ kg CO}_2/\text{kWh} = \underline{\underline{1431,46 \text{ kg CO}_2 \text{ al año}}}$$

8.5.2. Ahorro de emisiones para climatización.

Para la climatización, el ahorro lo obtendremos como consecuencia del uso de la máquina de absorción en lugar de la máquina de compresión mecánica, luego ahorraremos CO₂ producido por electricidad, cuyas emisiones por kWh son bastante mayores que los que produce el gas natural.

El procedimiento a usar para el cálculo de los kWh es parecido al usado para ACS, pero en este caso, la potencia la tenemos hallada en el cálculo de la carga térmica; pero al ser éste el valor más restrictivo, no podemos multiplicar por las horas del día. Tendremos que multiplicar la carga térmica por un número de horas, que nos de los mismos kWh que la potencia instantánea a lo largo de todo el día. Estas horas serán las siguientes:

Junio	5 horas
Julio	7 horas
Agosto	6 horas
Septiembre	4,5 horas

Tabla 8.2. Horas equivalentes de uso de la carga térmica.

Por lo tanto, haciendo los cálculos obtengo los siguientes resultados:

Demanda climatización solo con máquina compresión mecánica: 6986,34 kWh

Demanda climatización cubierta por la instalación solar: 2087,33 kWh

Por lo tanto el ahorro de CO₂ anual por el uso de las placas solares es el siguiente:

$$\text{Ahorro CO}_2 = 2087,33 \cdot 0,649 \text{ kg CO}_2/\text{kWh} = \underline{\underline{1354,68 \text{ kg CO}_2 \text{ al año}}}$$

8.5.3. Ahorro de emisiones para calefacción.

Para la calefacción, tendremos que emplear el mismo método que para climatización, ya que la potencia que tenemos se trata de la carga térmica, y no se mantiene ese valor durante todas las horas del día.

En el uso de suelo radiante, también usaremos la caldera como en el ACS, por lo que el combustible empleado será gas natural.

El número de horas usadas para calefacción sería el siguiente:

Mes	Horas	Mes	Horas
Enero	8	Mayo	2
Febrero	6	Octubre	2
Marzo	4	Noviembre	3,5
Abril	3	Diciembre	6

Tabla 8.3. Horas equivalentes del uso de la carga térmica.

Por lo tanto, haciendo los cálculos obtengo los siguientes resultados:

Demanda calefacción solo con caldera: 9302,925 kWh

Demanda calefacción cubierta por la instalación solar: 992,1 kWh

Por lo tanto el ahorro de CO₂ anual por el uso de las placas solares es el siguiente:

$$\text{Ahorro CO}_2 = 992,1 \cdot 0,204 \text{ kg CO}_2/\text{kWh} = \underline{\underline{202,39 \text{ kg CO}_2 \text{ al año}}}$$

8.5.4. Ahorro total de la instalación.

Por lo tanto el ahorro total de CO₂ de la instalación solar al año, teniendo en cuenta el agua caliente sanitaria, la climatización mediante la máquina de absorción y la calefacción es el siguiente:

Ahorro anual de CO₂ total de la instalación: 2988,53 kg de CO₂



CAPÍTULO 9

ESTUDIO ECONÓMICO

9.1. Introducción.

En el estudio económico analizamos en cuantos años la instalación solar será rentable por el ahorro de combustible, tanto en la caldera como en la máquina de compresión mecánica, y por el ahorro de emisiones de CO₂.

Al realizarlo, tenemos que tener en cuenta que la vida útil de una instalación solar suele estar entre los 25 o 30 años, por lo que tendremos que ver si nuestra instalación consigue ser rentable antes de ese periodo de tiempo. En el caso de que no lo fuera habría que intentar hacer alguna modificación para conseguir la rentabilidad.

Para realizar el estudio económico hay que tener una serie de cosas en cuenta:

- Coste de la instalación, teniendo solo en cuenta los elementos que no irían en la instalación convencional.
- Subvenciones: hay que tener en cuenta las posibles subvenciones que nos da la Comunidad de Castilla La Mancha.
- Ahorro anual de combustible: cada año se ahorra una cantidad de gas natural y de electricidad por la acción de la instalación solar.
- Ahorro de emisiones de CO₂: cada año, por el ahorro de combustible también conseguimos un ahorro de emisiones de CO₂.
- Mantenimiento: cada año habrá en la instalación unos gastos de mantenimiento, estos suelen ser del 1% del coste total de la instalación.

Con todos estos parámetros hallaremos los años que hacen falta para que se rentabilice nuestra instalación.

9.2. Coste de la instalación.

Vamos a hacer un estudio del coste de la instalación, para realizar después el estudio económico y ver la rentabilidad de ésta. Para el cálculo del coste, no tendremos en cuenta los elementos comunes o los de apoyo con la que sería la instalación convencional, ya que estos no harían falta rentabilizarlos porque habría que tenerlos de todos modos.

Los elementos comunes serían la caldera, la máquina de compresión mecánica y el suelo radiante.

El presupuesto necesario para realizar el estudio económico es el siguiente:

Equipo	Fabricante	Modelo	Precio (€/unidad)	Unidades	Total (€)
Colector	Ibersolar	OPS- V210	708,41	15	10626
Fluido caloportador	Ibersolar	Tyfocor L	122,69	1	122,96
Estructura colectores	Ibersolar	Captador v., cubierta incl.	99	15	1485
Tuberías cobre	Technitub	TB – 7/8’’	10,44	40	417,6
Aislante	L'ISOLANTE K-FLEX	DUCT NET	30,9 €/m²	10,65 m²	326,33
Intercambiador	Viessmann	Vitotrans 100 PTW	748,2	2	1496,4
Bomba primario	WILO	Top –S 30/10	523,67	1	523,67
Bomba secundario	WILO	Start st 25/4	173,4	1	173,4
Bomba terciario	WILO	Start st 25/6	202,12	2	404,24
Vaso expansión	Ibersolar	35 L	93,79	1	93,79
Tanque almacenamiento solar	Ibersolar	Vitroflex de 2000 l	3882,06	1	3882,06
Tanque ACS	Ibersolar	Ready DST 200 l	865,01	1	865,01
Máquina de absorción	SONNENKLIMA	Suninverse 10kW	15000	1	15000
Válvulas	Ibersolar	-	-	Varios modelos	400
Sistema regulación	Sumiserán S.L	RD MU/7	232	1	232
Resto accesorios	Ibersolar	-	-	-	500
Ingeniería y montaje					1200
TOTAL					37748,47

Tabla 9.1. Presupuesto para el estudio de la rentabilidad de la instalación solar.

Una vez que tenemos el presupuesto con el que vamos a calcular la rentabilidad hallamos los demás parámetros.

9.3. Subvenciones.

El texto donde hace referencia a las subvenciones es el siguiente:

Resolución de 13-05-2008, de la Consejería de Industria y Sociedad de la Información, por la que se convocan subvenciones para el aprovechamiento de energías renovables en Castilla-La Mancha para el año 2008.

Con fecha 7 de marzo de 2008, se ha procedido a suscribir un Convenio de Colaboración entre la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha y el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), para la definición y puesta en práctica de las actuaciones de apoyo público contempladas en el Plan de Energías Renovables en el ámbito territorial de Castilla-La Mancha, para el ejercicio 2008, cuya implementación se lleva a efecto a través de la presente convocatoria.

En virtud de las competencias previstas en el Decreto 132/2007, de 17 de julio, por el que se establece la estructura orgánica y competencias de la Consejería de Industria y Sociedad de la Información, así como en el artículo 72 del texto refundido de la Ley de Hacienda de Castilla-La Mancha, aprobado por Decreto legislativo 1/2002, de 19 de noviembre, y en uso de las atribuciones conferidas por la Ley 11/2003, de 25 de septiembre, del Gobierno y del Consejo Consultivo de Castilla-La Mancha, todo ello de conformidad a lo previsto en la Ley 38/2003, de 17 de noviembre, General de Subvenciones,

Resuelvo,

Primero.- Objeto, finalidad de la concesión de subvención y beneficiarios.

1. La presente Orden tiene por objeto convocar, en régimen de concurrencia competitiva, las ayudas para el aprovechamiento de energías renovables mediante la aplicación de las siguientes tecnologías:
 - a) **Solar térmica.**
 - b) Fotovoltaica aislada con o sin acumulación.
 - c) Biomasa.
 - d) Híbridas Biomasa+Solar térmica.
2. Tendrán la consideración de beneficiarios a los efectos de la presente Orden:
 - a) Las personas físicas.
 - b) Las sociedades mercantiles.
 - c) Las Corporaciones locales, así como sus agrupaciones o mancomunidades.
 - d) Las asociaciones.
 - e) Las comunidades de bienes, a través de sus representantes o apoderados únicos, con poderes bastantes para cumplir con las obligaciones que como beneficiarias les correspondan.

Segundo.- Régimen jurídico.

Las subvenciones a que se refiere la presente Orden, además de lo previsto por la misma, se regirá por la Orden 12 de mayo de 2008, de la Consejería de Industria y Sociedad de la Información, por la que se establecen las bases reguladoras de las ayudas para la implantación de energías renovables de uso propio en Castilla-La Mancha, publicada en el Diario Oficial de Castilla-La Mancha que publica la presente convocatoria, por los preceptos básicos establecidos en la Ley 38/2003, de 17 de noviembre, General de Subvenciones y en su Reglamento de desarrollo, aprobado por el Real Decreto 887/2006, de 21 de julio, así como por lo establecido en el Texto Refundido de la Ley de Hacienda de Castilla-La Mancha, aprobado por el Decreto Legislativo 1/2002, de 19 de noviembre, y su Reglamento de desarrollo.

Tercero.- Financiación.

1. La cantidad máxima destinada para esta convocatoria de subvenciones será de 2.030.511 euros, imputable a la anualidad presupuestaria 2009, con el desglose por partidas presupuestarias y tecnologías que a continuación se indican:

- a) Desglose por partidas presupuestarias:

- 1º. 20.04.0000G/722A/76556 fondo 696: hasta 207.050 euros
- 2º. 20.04.0000G/722A/77556 fondo 696: hasta 420.561 euros
- 3º. 20.04.0000G/722A/78556 fondo 696: hasta 1.402.900 euros

- b) Desglose por tecnologías subvencionables:

- 1º. **Solar térmica de baja temperatura:** hasta 1.247.000,00 euros
- 2º. Biomasa térmica: hasta 300.000,00 euros
- 3º. Instalaciones híbridas Biomasa+Solar térmica: 150.000,00 euros
- 4º. Solar fotovoltaica aislada: 333.511,00 euros

2. La distribución por partidas y tecnologías anteriormente realizada tendrá carácter estimativo, por lo que al amparo de lo dispuesto en el clausulado del Convenio de referencia suscrito entre IDAE y la Consejería de Industria y Sociedad de la Información con fecha 7 de marzo de 2008, a la vista de las solicitudes presentadas, con carácter previo a la resolución y en aras de optimizar los recursos económicos asignados al Plan de Energías Renovables y por ende los objetivos energéticos a cuya consecución van destinados, la Consejería de Industria y Sociedad de la Información podrá reasignar fondos entre tecnologías y redistribuir las cuantías inicialmente asignadas entre las partidas presupuestarias previstas en la presente convocatoria.

Cuarto.- Costes de referencia de inversión subvencionable.

De conformidad con lo dispuesto en el artículo 6.2 de la Orden de 12 de mayo de 2008, de la Consejería de Industria y Sociedad de la Información, por la que se establecen las bases reguladoras de las ayudas para la implantación de energías renovables de uso propio en Castilla-La Mancha, el órgano concedente tomará como costes de referencia de la inversión subvencionable los siguientes:

- a) **Instalaciones solares térmicas.** Se tomará como coste de referencia, a efectos de subvención, una inversión máxima por unidad de potencia de captación instalada según las características de cada proyecto de:

- 1º.- Hasta 14 Kw ó 20 m2: 1.160 euros por Kw (812 euros / m2)
- 2º.- **Más de 14 Kw ó 20 m2: 1.015 euros por Kw (710,5 euros/ m2)**

- b) Para instalaciones fotovoltaicas con o sin acumulación, el 22% de la inversión subvencionable, aceptada y aprobada por la Dirección General competente en materia de energía, I.V.A. excluido. Se tomará como coste de referencia, en relación con los objetivos energéticos a subvencionar, una inversión máxima por unidad de potencia eléctrica instalada de:

1º.- 10 euros/wp, para instalaciones con acumulación.

2º.- 8 euros/wp para instalaciones sin acumulación.

- c) Para instalaciones de biomasa. Se tomará como coste de referencia, en relación con los objetivos energéticos, una inversión máxima por unidad de potencia térmica instalada de: 600euros/kw.

- d) Para instalaciones híbridas Biomasa+Solar térmica, se computarán los costes proporcionales de cada tecnología y se aplicará la subvención correspondiente.

Esta parte anterior es la más importante del texto sobre la subvención, que se calcula tomando un coste de referencia como indica la siguiente tabla:

COSTES DE REFERENCIA Y CUANTÍAS DE SUBVENCIÓN

SOLAR TÉRMICA

Coste de referencia	Hasta 20 m ²812 €/m ² Mas de 20 m ²710,5 €/ m ²
Cuántia de la subvención	37% del coste subvencionable

Tabla 9.2. Coste de referencia y subvención. (Fuente: Junta de Castilla La Mancha).

Por lo tanto como en nuestra instalación tenemos un área de colectores de 31,36 m² estaremos en el segundo caso, con un coste de referencia de 22283,77 €, por lo tanto obtendremos una subvención de:

Subvención: 8245 €

9.4. Ahorro anual de combustible.

Para hallar el ahorro de combustible primero tenemos que obtener el precio anual del combustible utilizado (gas natural y electricidad). Los precios son los siguientes:

- Precio gas natural: (Fuente: Gas natural).
 - Fijo de 7,84 €/mes que no lo usaremos ya que tenemos que pagarlo aunque ahorremos combustible.
 - Variable de 0,03786566 €/kWh
- Precio electricidad: (Fuente: Iberdrola).
 - 0,133245 €/kWh + 16% IVA + 5,1127 % de Impuesto Eléctrico.

Entonces con los precios y la demanda de energía cubierta al año podemos calcular el ahorro de combustible.

- Demanda de energía cubierta:
 - Gas natural: 8009,08 kWh.
 - Electricidad: 2087,33 kWh.

Para el cálculo del ahorro en los años sucesivos tenemos en cuenta un incremento del precio de la energía anual, tomando como referencia la media de los incrementos de los últimos 5 años.

9.5. Ahorro por emisiones de CO₂.

El ahorro de emisiones de CO₂ en el sector de la vivienda no redunda en un beneficio económico (por ahora) al quedar fuera del protocolo de Kioto, no participando por lo tanto en el mercado de derechos de emisión de CO₂, pero si en un futuro se diera un beneficio económico por el ahorro de emisiones se conseguiría una rentabilidad mucho mayor en las instalaciones de energía solar

La emisión de CO₂ tiene asociado un coste y al evitar su emisión se puede obtener un beneficio. Existe un mercado de compra y venta de emisiones de CO₂. Los datos actuales, a julio de 2009 nos dan un valor de la tonelada de CO₂ de 12,94 €/tn CO₂ como podemos ver en la siguiente gráfica.

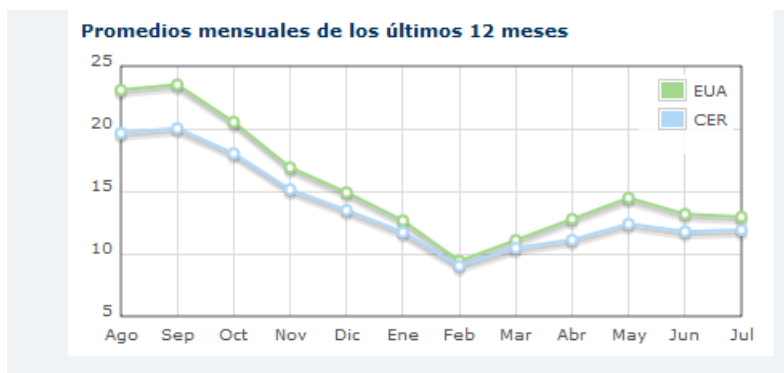


Ilustración 9.1. Gráfica de venta de emisiones de CO₂ (Fuente: SENDECO2)

Como vemos en la gráfica, el valor de venta de CO₂ es un valor muy fluctuante, por lo que tomaremos como base de cálculo el obtenido en el mes de julio de 2009.

En nuestra instalación tenemos un ahorro de CO₂ anual de:

Ahorro anual de CO₂: 2,98853 tn CO₂/año

En el estudio de rentabilidad voy a comparar como influiría la posibilidad de la venta de ahorro de CO₂ en la viabilidad del proyecto

9.6. Mantenimiento.

El mantenimiento se puede aproximar al 1% de la inversión inicial. Como la inversión inicial es de 37748,47 €, tenemos unos gastos de mantenimientos anuales de:

Gastos anuales de mantenimiento: 377 €

Este dato irá aumentando cada año según la tasa de inflación anual.

9.7. Conclusión estudio económico.

Hemos realizado el estudio de la instalación mediante el VAN y el TIR, hallando los flujos de caja que se producen cada año. Además he tenido en cuenta la tasa de inflación anual, el incremento del precio de la energía y el interés financiero para poder obtener datos de los años sucesivos.

El proyecto sería rentable a partir del año 27, momento en el que el VAN pasa a ser positivo, lo cual significa que finalmente se ha recuperado la inversión. La rentabilidad de la inversión es incierta porque la duración de las instalaciones solares suele estar entre 25 y 30 años.

Como podemos ver en el anexo del estudio económico, si se tuviera en cuenta el ahorro por la emisión de CO₂, la instalación sería rentable en lugar de en 27 años en 26, luego sería interesante que en un futuro se estudiara premiar el ahorro de emisiones

La máquina de absorción, añade un gasto muy importante a la instalación, siendo esta un factor determinante para el largo periodo de amortización.

Es un acierto el haber tomado solo una parte del edificio a climatizar, ya que si hubiera tomado una zona más grande, por la falta de espacio hacia el sur para colocar los colectores, la instalación hubiera sido menos rentable.

Los datos como interés financiero, incremento del precio del combustible e interés financiero pueden resultar erróneos por la inestabilidad económica en la que nos encontramos actualmente, tomando datos de la media de los últimos 5 años, al ser imposible en este momento predecir un valor.

La tabla con los cálculos del VAN y el TIR para los dos casos los podemos encontrar en el Anexo 4.



CAPÍTULO 10

CONCLUSIÓN

- En el presente Proyecto Fin de Carrera se ha efectuado el estudio de una instalación solar para abastecer la demanda de ACS, calefacción (mediante suelo radiante) y climatización (mediante máquina de absorción) en Albacete.
- El edificio en el que se ha realizado la instalación tiene una demanda de ACS de 463 litros al día y unas cargas térmicas máximas de 11,420 Kw para calefacción en el mes de enero y 10,950 Kw para climatización en el mes de julio.
- Se han empleado 15 colectores solares planos para conseguir una fracción solar media anual de ACS de 0,701, el CTE exige para Albacete un valor mínimo de 0,7. Además se ha conseguido una fracción solar de calefacción en el mes de mayo de 0,577 y una fracción solar de climatización en el mes de julio de 0,376. Para el cálculo de estos resultados he usado el programa Maple, ya que el Mathcad daba problemas al dar los resultados.
- En los meses de diciembre, enero y febrero no se ha empleado la instalación solar para alimentar el suelo radiante ya que, de hacerlo, no se conseguía cumplir con la condición de fracción solar mínima para ACS de 0,7.
- Si usáramos sólo la instalación para ACS, necesitaríamos solamente 6 colectores para cumplir con el factor solar de 0,7.
- Las pérdidas en el colector, se han realizado mediante el método de resistencias térmicas, dando unas pérdidas ligeramente superiores que con el uso de la curva de normalización. A continuación representamos una gráfica del rendimiento usando la curva de normalización y usando el método de las resistencias.

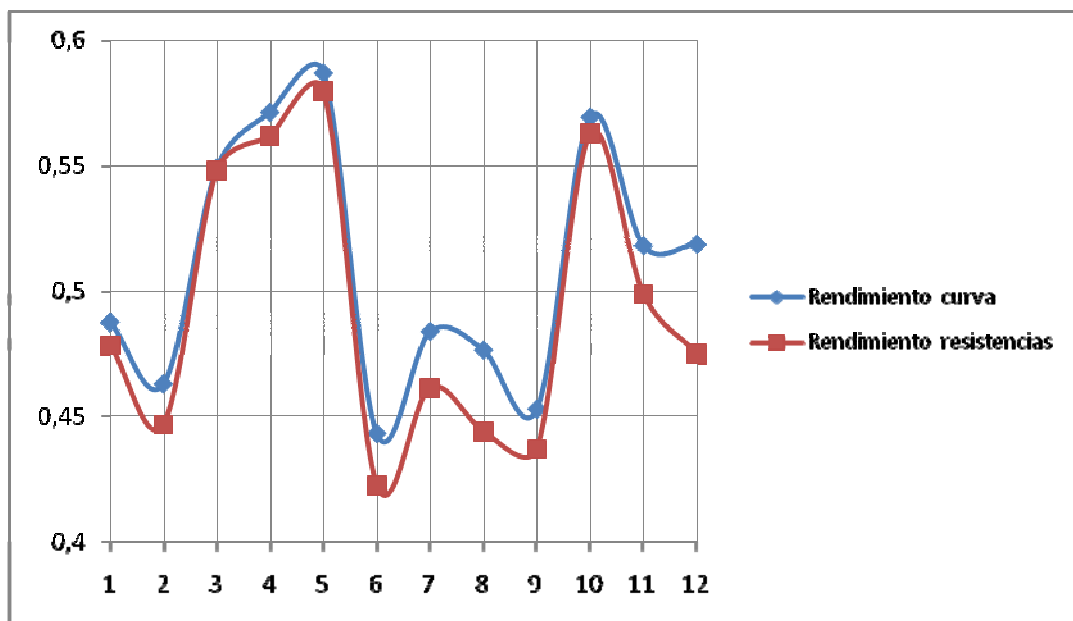


Ilustración 10.1. Gráfica de comparación de pérdidas en el colector.

- Se ve cómo las dos curvas dan aproximadamente el mismo rendimiento pero algo menor utilizando el método de las resistencias, por el hecho de obtener más pérdidas por este método.
- Se consigue en la instalación un ahorro de emisiones de CO₂ anual de 2,98853 toneladas CO₂ al año. Si se tiene en cuenta la vida de una instalación solar, que puede estar entre los 25 y los 30 años, conseguiríamos un ahorro de emisiones de 89,66 toneladas de CO₂ lo que supone un ahorro muy importante.
- Se consigue la rentabilidad de la instalación solar a partir del año 27. Dado que la vida de una instalación está entre 25 y 30 años, su rentabilidad es incierta. Esto en parte es debido a la máquina de absorción, que añade un alto valor a la inversión inicial de la instalación.
- Si se obtuviera beneficio por el ahorro de CO₂, la instalación sería rentable en 26 años en lugar de 27 años.
- Aunque no se puede prever si la instalación es rentable o no, se consigue un alto ahorro de emisiones de CO₂, por lo tanto, la instalación es atractiva desde el punto de vista ambiental. Además, si subiera el precio del combustible en los próximos años se conseguiría rentabilizar antes la instalación.

Bibliografía.

- **Código Técnico de la Edificación (CTE).**
- **Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE).**
- **Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura.**
- **DTIE 1.01** (Preparación de agua caliente para usos sanitarios).
- **DTIE 8.03** (Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria).
- **Norma UNE100001** (condiciones climáticas para proyectos) y **norma UNE100014** (condiciones exteriores de cálculo).
- **Ordenanza de Castilla La Mancha para las subvenciones para el aprovechamiento de las energías renovables.**
- **Material proporcionado por el Departamento de Térmica de la Universidad Carlos III de Madrid.**
- **Apuntes de la asignatura Ingeniería Térmica y de Fluidos.**
- **Apuntes de la asignatura Calor y Frío Industrial.**
- **Apuntes de la asignatura Ingeniería Energética.**
- **Apuntes de la asignatura Combustión y Generación de Contaminantes.**
- **Plan de Energías Renovables 2005 – 2009** (Instituto para la diversificación y ahorro de Energía IDEA)
- **Manual de energía solar térmica de Salvador Escoda.**
- **Manual técnico de suelo radiante** (Industrias Blansol S.A.).
- **Páginas web usadas.**
 - Agencia Estatal de Meteorología.
 - CENSOLAR.
 - METEORED.
 - Catálogo SPF de colectores online.
 - SENDECO2.
 - IBERSOLAR.
 - IBERDROLA Y GAS NATURAL.



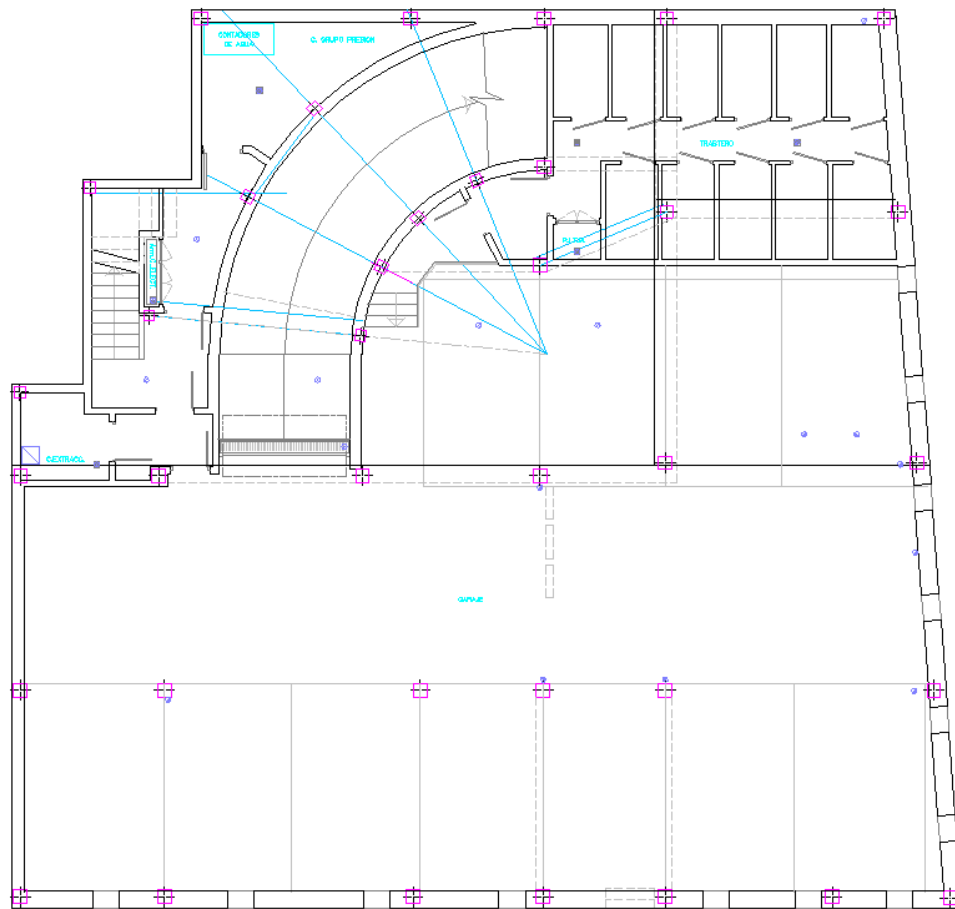
ANEXOS



ANEXO 1:

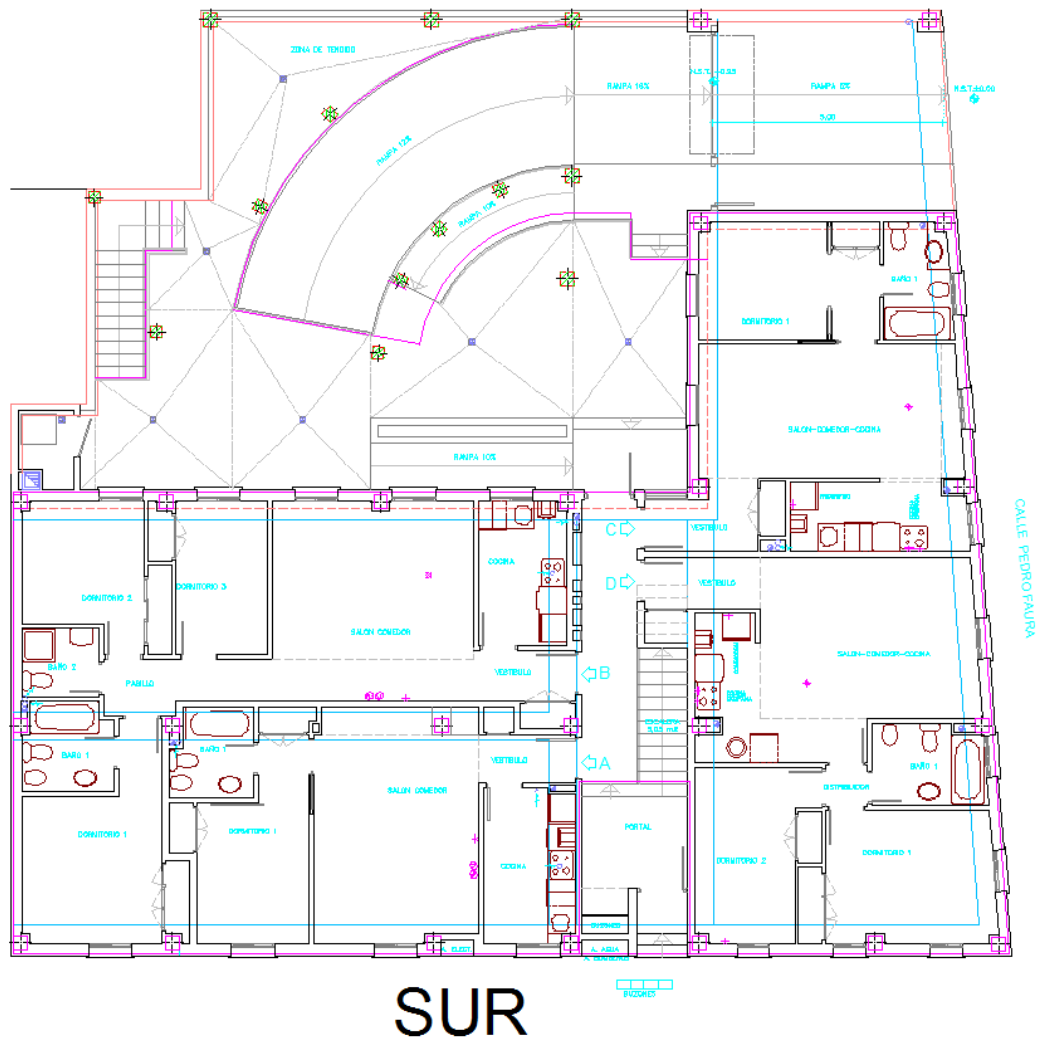
PLANOS

SÓTANO

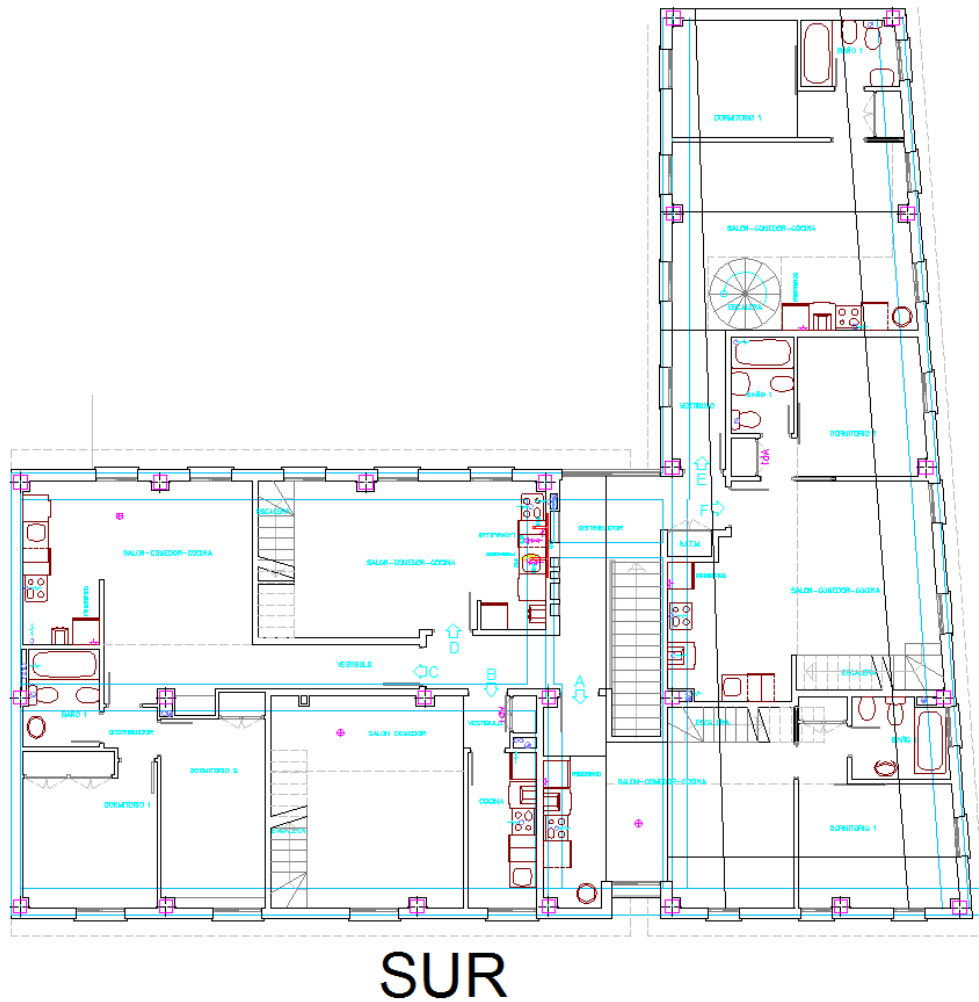


SUR

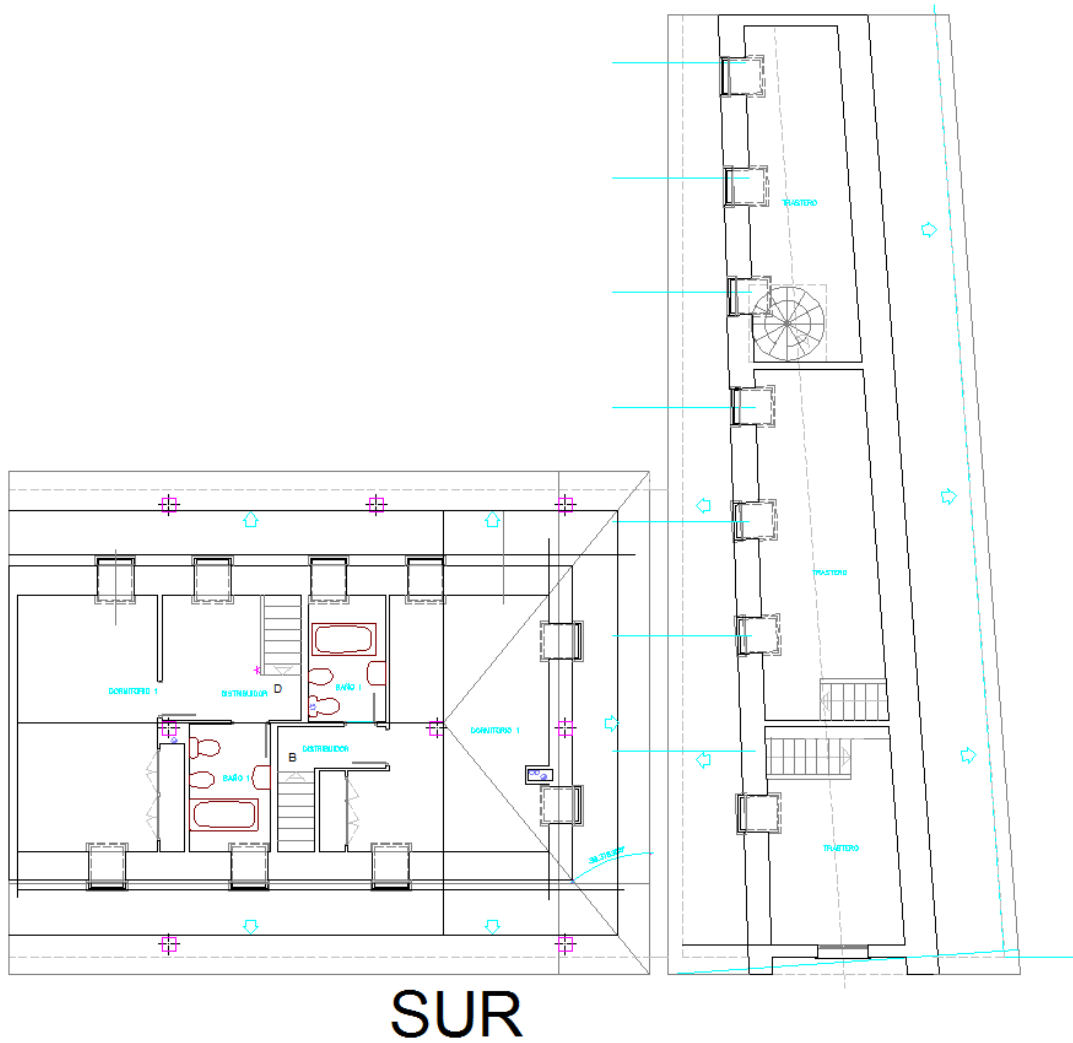
PLANTA BAJA



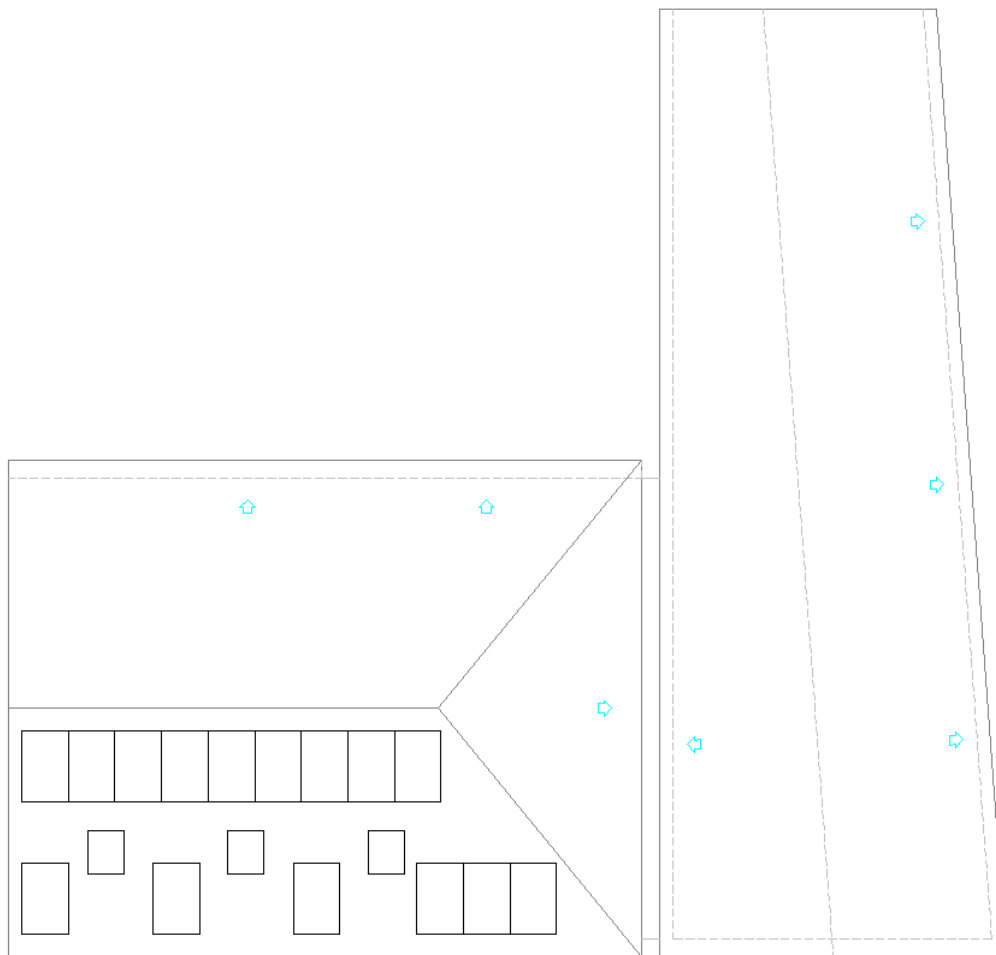
PLANTA PRIMERA



PLANTA SEGUNDA



TEJADO



SUR



ANEXO 2: PROGRAMAS

Programas en Mathcad.

Cargas Térmicas de climatización.

Datos Iniciales

Temperaturas máxima y mínima

$$T_{\min} := (-3.7^{\circ}\text{C} \quad 0.8^{\circ}\text{C} \quad 2.5^{\circ}\text{C} \quad 4.5^{\circ}\text{C} \quad 8.5^{\circ}\text{C} \quad 12.7^{\circ}\text{C} \quad 16^{\circ}\text{C} \quad 16.1^{\circ}\text{C} \quad 12.9^{\circ}\text{C} \quad 7.9^{\circ}\text{C} \quad 3.5^{\circ}\text{C} \quad 1.1^{\circ}\text{C})$$

$$T_{\max} := (10.1^{\circ}\text{C} \quad 12.3^{\circ}\text{C} \quad 15.5^{\circ}\text{C} \quad 17.7^{\circ}\text{C} \quad 22.1^{\circ}\text{C} \quad 27.9^{\circ}\text{C} \quad 32.5^{\circ}\text{C} \quad 31.9^{\circ}\text{C} \quad 26.8^{\circ}\text{C} \quad 19.8^{\circ}\text{C} \quad 14.2^{\circ}\text{C} \quad 10.8^{\circ}\text{C})$$

Variaciones de Temperaturas

$$\Delta t_{\text{teeste}}_{\text{junio}} := 10^{\circ}\text{C} \quad \Delta t_{\text{teoeste}}_{\text{junio}} := 4.4^{\circ}\text{C} \quad \Delta t_{\text{tesur}}_{\text{junio}} := 7.2^{\circ}\text{C} \quad \Delta t_{\text{tenorte}}_{\text{junio}} := 0.5^{\circ}\text{C} \quad \Delta t_{\text{tetecho}}_{\text{junio}} := 16.1^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t_{\text{teeste}}_{\text{julio}} := 10.5^{\circ}\text{C} \quad \Delta t_{\text{teoeste}}_{\text{julio}} := 4.9^{\circ}\text{C} \quad \Delta t_{\text{tesur}}_{\text{julio}} := 7.7^{\circ}\text{C} \quad \Delta t_{\text{tenorte}}_{\text{julio}} := 1^{\circ}\text{C} \quad \Delta t_{\text{tetecho}}_{\text{julio}} := 16.6^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t_{\text{teeste}}_{\text{agosto}} := 10.5^{\circ}\text{C} \quad \Delta t_{\text{teoeste}}_{\text{agosto}} := 4.9^{\circ}\text{C} \quad \Delta t_{\text{tesur}}_{\text{agosto}} := 7.7^{\circ}\text{C} \quad \Delta t_{\text{tenorte}}_{\text{agosto}} := 1^{\circ}\text{C} \quad \Delta t_{\text{tetecho}}_{\text{agosto}} := 16.6^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t_{\text{teeste}}_{\text{sept}} := 9.8^{\circ}\text{C} \quad \Delta t_{\text{teoeste}}_{\text{sept}} := 4.2^{\circ}\text{C} \quad \Delta t_{\text{tesur}}_{\text{sept}} := 7^{\circ}\text{C} \quad \Delta t_{\text{tenorte}}_{\text{sept}} := 0.3^{\circ}\text{C} \quad \Delta t_{\text{tetecho}}_{\text{septiembre}} := 15.9^{\circ}\text{C}$$

Radiación por Orientación

$$I_{\text{vents}}_{\text{junio}} := 271 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad I_{\text{ventn}}_{\text{junio}} := 94 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad I_{\text{lucernnarios}}_{\text{sur}}_{\text{junio}} := 675 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad I_{\text{lucernnarios}}_{\text{seste}}_{\text{junio}} := 479 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$I_{\text{lucernnarios}}_{\text{norte}}_{\text{junio}} := 598 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$I_{\text{vents}}_{\text{julio}} := 277 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad I_{\text{ventn}}_{\text{julio}} := 89 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad I_{\text{lucernnarios}}_{\text{sur}}_{\text{julio}} := 700 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad I_{\text{lucernnarios}}_{\text{seste}}_{\text{julio}} := 480 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$I_{\text{lucernnarios}}_{\text{norte}}_{\text{julio}} := 586 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$I_{\text{vents}}_{\text{agosto}} := 348 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad I_{\text{ventn}}_{\text{agosto}} := 89 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad I_{\text{lucernnarios}}_{\text{sur}}_{\text{agosto}} := 682 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad I_{\text{lucernnarios}}_{\text{seste}}_{\text{agosto}} := 430 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$I_{\text{lucernnarios}}_{\text{norte}}_{\text{agosto}} := 505 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$I_{\text{vents}}_{\text{sept}} := 427 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad I_{\text{ventn}}_{\text{sept}} := 77 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad I_{\text{lucernnarios}}_{\text{sur}}_{\text{sept}} := 631 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad I_{\text{lucernnarios}}_{\text{seste}}_{\text{sept}} := 341 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$I_{\text{lucernnarios}}_{\text{norte}}_{\text{sept}} := 373 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Transmitancias Térmicas

$$\begin{aligned}
 U_{me} &:= 0.277 \frac{W}{m^2 \cdot K} & U_{mi} &:= 1.03 \frac{W}{m^2 \cdot K} & U_{tcalef} &:= 0.324 \frac{W}{m^2 \cdot K} & U_{tclimat} &:= 0.317 \frac{W}{m^2 \cdot K} & U_{vA} &:= 1.0707 \frac{W}{m^2 \cdot K} \\
 U_{vB} &:= 1.087 \frac{W}{m^2 \cdot K} & U_{luc} &:= 1.091 \frac{W}{m^2 \cdot K} & F_{luc} &:= 0.24 & F_{vA} &:= 0.18 & F_{vB} &:= 0.24 & U_{puertas} &:= 2 \frac{W}{m^2 \cdot K}
 \end{aligned}$$

Áreas

$$\begin{aligned}
 A_{sur} &:= 21.512 m^2 & A_{oeste} &:= (24.57 + 15.31) \cdot m^2 & A_{norte} &:= 24.258 m^2 & A_{este} &:= 0 & A_{tsur} &:= 62.916 m^2 \\
 A_{tnorte} &:= 62.148 m^2 & A_{teste} &:= 27.044 m^2 & A_{nocalef} &:= 19.435 m^2 & A_{puertas} &:= 5.733 m^2 & A_{ventanaA} &:= 7.92 m^2 \\
 A_{ventanaB} &:= 6.11 m^2 & A_{venttot} &:= A_{ventanaA} + A_{ventanaB} & A_{lucsur} &:= 2.304 m^2 & A_{lucnorte} &:= 3.072 m^2 \\
 A_{luceste} &:= 1.536 m^2 & A_{luctot} &:= A_{lucsur} + A_{lucnorte} + A_{luceste}
 \end{aligned}$$

CLIMATIZACION

$$T_{sl_{verano}} := 23^\circ C \quad \Delta T_{local} := \frac{(T_{sl_{verano}} + T_{max})}{2}$$

Carga sensible

Cargas por transmisión

Junio

$$\begin{aligned}
 Q_{tjunnorte} &:= A_{norte} \cdot U_{me} \cdot (\Delta t_{norte \text{ junio}} - 273.15 K) & Q_{tjunsur} &:= A_{sur} \cdot U_{me} \cdot (\Delta t_{sur \text{ junio}} - 273.15 K) \\
 Q_{tjuneste} &:= A_{este} \cdot U_{me} \cdot (\Delta t_{este \text{ junio}} - 273.15 K) & Q_{tjunooeste} &:= A_{oeste} \cdot U_{me} \cdot (\Delta t_{oeste \text{ junio}} - 273.15 K) \\
 Q_{tjuntechonorte} &:= A_{tnorte} \cdot U_{tclimat} \cdot (\Delta t_{etecho \text{ junio}} - 273.15 K) & Q_{tjuntechosur} &:= A_{tsur} \cdot U_{tclimat} \cdot (\Delta t_{etecho \text{ junio}} - 273.15 K) \\
 Q_{tjunitechoeste} &:= A_{teste} \cdot U_{tclimat} \cdot (\Delta t_{etecho \text{ junio}} - 273.15 K) & Q_{tjunventanaA} &:= A_{ventanaA} \cdot U_{vA} \cdot (T_{max_{I,6}} - T_{sl_{verano}}) \\
 Q_{tjunpuertas} &:= A_{puertas} \cdot U_{puertas} \cdot (\Delta T_{local_{I,6}} - T_{sl_{verano}}) & Q_{tjunlucer} &:= A_{luctot} \cdot U_{luc} \cdot (\Delta t_{etecho \text{ junio}} - 273.15 K) \\
 Q_{tjunmi} &:= A_{nocalef} \cdot U_{mi} \cdot (\Delta T_{local_{I,6}} - T_{sl_{verano}}) \\
 Q_{transjunio} &:= Q_{tjunnorte} + Q_{tjunsur} + Q_{tjuneste} + Q_{tjunooeste} + Q_{tjuntechonorte} + Q_{tjuntechosur} + Q_{tjunitechoeste} + Q_{tjunventanaA} + Q_{tjunpuertas} + Q_{tjunlucer} + Q_{tjunmi}
 \end{aligned}$$

Julio

$$Q_{tj\text{ulnorte}} := A_{\text{norte}} \cdot U_{\text{me}} (\Delta T_{\text{enorte julio}} - 273.15 \text{ K})$$

$$Q_{tj\text{ulsur}} := A_{\text{sur}} \cdot U_{\text{me}} (\Delta T_{\text{esur julio}} - 273.15 \text{ K})$$

$$Q_{tj\text{uleste}} := A_{\text{este}} \cdot U_{\text{me}} (\Delta T_{\text{eeste julio}} - 273.15 \text{ K})$$

$$Q_{tj\text{uloeste}} := A_{\text{oeste}} \cdot U_{\text{me}} (\Delta T_{\text{eoeste julio}} - 273.15 \text{ K})$$

$$Q_{tj\text{ultechonorte}} := A_{\text{tnorte}} \cdot U_{\text{tclimat}} (\Delta T_{\text{etecho julio}} - 273.15 \text{ K})$$

$$Q_{tj\text{ultechosur}} := A_{\text{tsur}} \cdot U_{\text{tclimat}} (\Delta T_{\text{etecho julio}} - 273.15 \text{ K})$$

$$Q_{tj\text{ulietechoeste}} := A_{\text{teste}} \cdot U_{\text{tclimat}} (\Delta T_{\text{etecho julio}} - 273.15 \text{ K})$$

$$Q_{tj\text{ulventanaA}} := A_{\text{ventanaA}} \cdot U_{\text{vA}} (T_{\text{max}_{1,7}} - T_{\text{slverano}})$$

$$Q_{tj\text{ulpuertas}} := A_{\text{puertas}} \cdot U_{\text{puertas}} (\Delta T_{\text{local}_{1,7}} - T_{\text{slverano}})$$

$$Q_{tj\text{ullucer}} := A_{\text{luctot}} \cdot U_{\text{luc}} (\Delta T_{\text{etecho julio}} - 273.15 \text{ K})$$

$$Q_{tj\text{ulmi}} := A_{\text{nocalef}} \cdot U_{\text{mi}} (\Delta T_{\text{local}_{1,7}} - T_{\text{slverano}})$$

$$Q_{\text{transjulio}} := Q_{tj\text{ulnorte}} + Q_{tj\text{ulsur}} + Q_{tj\text{uleste}} + Q_{tj\text{uloeste}} + Q_{tj\text{ultechonorte}} + Q_{tj\text{ultechosur}} + Q_{tj\text{ulietechoeste}} + Q_{tj\text{ulventanaA}} + Q_{tj\text{ulpuertas}} + Q_{tj\text{ullucer}} + Q_{tj\text{ulmi}}$$

Agosto

$$Q_{\text{tagonorte}} := A_{\text{norte}} \cdot U_{\text{me}} (\Delta T_{\text{enorte agosto}} - 273.15 \text{ K})$$

$$Q_{\text{tagosur}} := A_{\text{sur}} \cdot U_{\text{me}} (\Delta T_{\text{esur agosto}} - 273.15 \text{ K})$$

$$Q_{\text{tagoeste}} := A_{\text{este}} \cdot U_{\text{me}} (\Delta T_{\text{eeste agosto}} - 273.15 \text{ K})$$

$$Q_{\text{tagooeste}} := A_{\text{oeste}} \cdot U_{\text{me}} (\Delta T_{\text{eoeste agosto}} - 273.15 \text{ K})$$

$$Q_{\text{tagotechonorte}} := A_{\text{tnorte}} \cdot U_{\text{tclimat}} (\Delta T_{\text{etecho agosto}} - 273.15 \text{ K})$$

$$Q_{\text{tagotechosur}} := A_{\text{tsur}} \cdot U_{\text{tclimat}} (\Delta T_{\text{etecho agosto}} - 273.15 \text{ K})$$

$$Q_{\text{tagotechoeste}} := A_{\text{teste}} \cdot U_{\text{tclimat}} (\Delta T_{\text{etecho agosto}} - 273.15 \text{ K})$$

$$Q_{\text{tagoventanaA}} := A_{\text{ventanaA}} \cdot U_{\text{vA}} (T_{\text{max}_{1,8}} - T_{\text{slverano}})$$

$$Q_{\text{tagopuertas}} := A_{\text{puertas}} \cdot U_{\text{puertas}} (\Delta T_{\text{local}_{1,8}} - T_{\text{slverano}})$$

$$Q_{\text{tagolucer}} := A_{\text{luctot}} \cdot U_{\text{luc}} (\Delta T_{\text{etecho agosto}} - 273.15 \text{ K})$$

$$Q_{\text{tagomi}} := A_{\text{nocalef}} \cdot U_{\text{mi}} (\Delta T_{\text{local}_{1,8}} - T_{\text{slverano}})$$

$$Q_{\text{transagosto}} := Q_{\text{tagonorte}} + Q_{\text{tagosur}} + Q_{\text{tagoeste}} + Q_{\text{tagooeste}} + Q_{\text{tagotechonorte}} + Q_{\text{tagotechosur}} + Q_{\text{tagotechoeste}} + Q_{\text{tagoventanaA}} + Q_{\text{tagopuertas}} + Q_{\text{tagolucer}} + Q_{\text{tagomi}}$$

Septiembre

$$\begin{aligned}
 Q_{tsepnorte} &:= A_{norte} \cdot U_{me} \cdot (\Delta t_{enorte_sept} - 273.15 K) & Q_{tsepsur} &:= A_{sur} \cdot U_{me} \cdot (\Delta t_{esur_sept} - 273.15 K) \\
 Q_{tsepeste} &:= A_{este} \cdot U_{me} \cdot (\Delta t_{eeste_sept} - 273.15 K) & Q_{tsepoeste} &:= A_{oeste} \cdot U_{me} \cdot (\Delta t_{eoeste_sept} - 273.15 K) \\
 Q_{tseptechnorte} &:= A_{tnorte} \cdot U_{tclimat} \cdot (\Delta t_{etecho_septiembre} - 273.15 K) & Q_{tseptechosur} &:= A_{tsur} \cdot U_{tclimat} \cdot (\Delta t_{etecho_septiembre} - 273.15 K) \\
 Q_{tseptechoeste} &:= A_{teste} \cdot U_{tclimat} \cdot (\Delta t_{etecho_septiembre} - 273.15 K) & Q_{tsepventanaA} &:= A_{ventanaA} \cdot U_{vA} \cdot (T_{max1,9} - T_{sl_verano}) \\
 Q_{tseppuertas} &:= A_{puertas} \cdot U_{puertas} \cdot (\Delta T_{local1,9} - T_{sl_verano}) & Q_{tseplucer} &:= A_{lucrot} \cdot U_{luc} \cdot (\Delta t_{etecho_septiembre} - 273.15 K) \\
 Q_{tsepmi} &:= A_{nocalenf} \cdot U_{mi} \cdot (\Delta T_{local1,9} - T_{sl_verano})
 \end{aligned}$$

$$Q_{transsept} := Q_{tsepnorte} + Q_{tsepsur} + Q_{tsepeste} + Q_{tsepoeste} + Q_{tseptechnorte} + Q_{tseptechosur} + Q_{tseptechoeste} + Q_{tsepventanaA} + Q_{tseppuertas} + Q_{tseplucer} + Q_{tsepmi}$$

Transmisión por radiación solar

Junio

$$\begin{aligned}
 Q_{rjunvnorte} &:= I_{ventnorte_junio} \cdot A_{ventanaB} \cdot F_{vB} & Q_{rjunvsur} &:= I_{ventsur_junio} \cdot A_{ventanaA} \cdot F_{vA} \\
 Q_{rjunlsur} &:= I_{lucernnariosur_junio} \cdot A_{lucsur} \cdot F_{luc} & Q_{rjunlnorte} &:= I_{lucernnariosnorte_junio} \cdot A_{lucnorte} \cdot F_{luc} \\
 Q_{rjunleste} &:= I_{lucernnarioseste_junio} \cdot A_{luceste} \cdot F_{luc} \\
 Q_{radjunio} &:= Q_{rjunvnorte} + Q_{rjunvsur} + Q_{rjunlsur} + Q_{rjunlnorte} + Q_{rjunleste}
 \end{aligned}$$

Julio

$$\begin{aligned}
 Q_{rjulvnorte} &:= I_{ventnorte_julio} \cdot A_{ventanaB} \cdot F_{vB} & Q_{rjulvsur} &:= I_{ventsur_julio} \cdot A_{ventanaA} \cdot F_{vA} \\
 Q_{rjullsur} &:= I_{lucernnariosur_julio} \cdot A_{lucsur} \cdot F_{luc} & Q_{rjullnorte} &:= I_{lucernnariosnorte_julio} \cdot A_{lucnorte} \cdot F_{luc} \\
 Q_{rjulleste} &:= I_{lucernnarioseste_julio} \cdot A_{luceste} \cdot F_{luc} \\
 Q_{radjul} &:= Q_{rjulvnorte} + Q_{rjulvsur} + Q_{rjullsur} + Q_{rjullnorte} + Q_{rjulleste}
 \end{aligned}$$

Agosto

$$\begin{aligned}
 Q_{ragovnorte} &:= I_{ventnorte_agosto} \cdot A_{ventanaB} \cdot F_{vB} & Q_{ragovsur} &:= I_{ventsur_agosto} \cdot A_{ventanaA} \cdot F_{vA} \\
 Q_{ragolsur} &:= I_{lucernnariosur_agosto} \cdot A_{lucsur} \cdot F_{luc} & Q_{ragolnorte} &:= I_{lucernnariosnorte_agosto} \cdot A_{lucnorte} \cdot F_{luc} \\
 Q_{ragoleste} &:= I_{lucernnarioseste_agosto} \cdot A_{luceste} \cdot F_{luc} \\
 Q_{radagosto} &:= Q_{ragovnorte} + Q_{ragovsur} + Q_{ragolsur} + Q_{ragolnorte} + Q_{ragoleste}
 \end{aligned}$$

Septiembre

$$\begin{aligned}
 Q_{rsepvnorte} &:= I_{ventnorte_sept} \cdot A_{ventanaB} \cdot F_{vB} & Q_{rsepvsur} &:= I_{ventsur_sept} \cdot A_{ventanaA} \cdot F_{vA} \\
 Q_{rseplsur} &:= I_{lucernariosur_sept} \cdot A_{lucsur} \cdot F_{luc} & Q_{rseplnorte} &:= I_{lucernariosnorte_sept} \cdot A_{lucnorte} \cdot F_{luc} \\
 Q_{rsepleste} &:= I_{lucernarioseste_sept} \cdot A_{luceste} \cdot F_{luc} \\
 Q_{radsept} &:= Q_{rsepvnorte} + Q_{rsepvsur} + Q_{rseplsur} + Q_{rseplnorte} + Q_{rsepleste}
 \end{aligned}$$

Carga debida a ventilación

$$\begin{aligned}
 C_p &:= 1005 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} & \rho_{aire} &:= 1.3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\
 V_{ventB} &:= 41.84 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} & V_{ventC} &:= 47.88 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} & V_{ventD} &:= 40.62 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}
 \end{aligned}$$

Junio

$$\begin{aligned}
 Q_{ventBjun} &:= V_{ventB} \cdot \rho_{aire} \cdot C_p \cdot (T_{\max_{1,6}} - T_{sl_{verano}}) & Q_{ventCjun} &:= V_{ventC} \cdot \rho_{aire} \cdot C_p \cdot (T_{\max_{1,6}} - T_{sl_{verano}}) \\
 Q_{ventDjun} &:= V_{ventD} \cdot \rho_{aire} \cdot C_p \cdot (T_{\max_{1,6}} - T_{sl_{verano}}) \\
 Q_{ventjun} &:= Q_{ventBjun} + Q_{ventCjun} + Q_{ventDjun} & Q_{ventjun} &= 834.417 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Julio

$$\begin{aligned}
 Q_{ventBjul} &:= V_{ventB} \cdot \rho_{aire} \cdot C_p \cdot (T_{\max_{1,7}} - T_{sl_{verano}}) & Q_{ventCjul} &:= V_{ventC} \cdot \rho_{aire} \cdot C_p \cdot (T_{\max_{1,7}} - T_{sl_{verano}}) \\
 Q_{ventDjul} &:= V_{ventD} \cdot \rho_{aire} \cdot C_p \cdot (T_{\max_{1,7}} - T_{sl_{verano}}) \\
 Q_{ventjul} &:= Q_{ventBjul} + Q_{ventCjul} + Q_{ventDjul} & Q_{ventjul} &= 1.618 \times 10^3 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Agosto

$$\begin{aligned}
 Q_{ventBago} &:= V_{ventB} \cdot \rho_{aire} \cdot C_p \cdot (T_{\max_{1,8}} - T_{sl_{verano}}) & Q_{ventCago} &:= V_{ventC} \cdot \rho_{aire} \cdot C_p \cdot (T_{\max_{1,8}} - T_{sl_{verano}}) \\
 Q_{ventDago} &:= V_{ventD} \cdot \rho_{aire} \cdot C_p \cdot (T_{\max_{1,8}} - T_{sl_{verano}}) \\
 Q_{ventagosto} &:= Q_{ventBago} + Q_{ventCago} + Q_{ventDago} & Q_{ventagosto} &= 1.516 \times 10^3 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Septiembre

$$Q_{\text{ventBsep}} := V_{\text{ventB}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot C_p \cdot (T_{\text{maxI},9} - T_{\text{slverano}})$$

$$Q_{\text{ventCsep}} := V_{\text{ventC}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot C_p \cdot (T_{\text{maxI},9} - T_{\text{slverano}})$$

$$Q_{\text{ventDsep}} := V_{\text{ventD}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot C_p \cdot (T_{\text{maxI},9} - T_{\text{slverano}})$$

$$Q_{\text{ventsept}} := Q_{\text{ventBsep}} + Q_{\text{ventCsep}} + Q_{\text{ventDsep}}$$

$$Q_{\text{ventsept}} = 647.099W$$

Infiltraciones

$$V_{\text{infventA}} := 0.0198 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$V_{\text{infventB}} := 0.0153 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$V_{\text{influc}} := 0.01728 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Junio

$$Q_{\text{infAjun}} := V_{\text{infventA}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot C_p \cdot (T_{\text{maxI},6} - T_{\text{slverano}})$$

$$Q_{\text{infBjun}} := V_{\text{infventB}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot C_p \cdot (T_{\text{maxI},6} - T_{\text{slverano}})$$

$$Q_{\text{influcjun}} := V_{\text{influc}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot C_p \cdot (T_{\text{maxI},6} - T_{\text{slverano}})$$

$$Q_{\text{infjun}} := Q_{\text{infAjun}} + Q_{\text{infBjun}} + Q_{\text{influcjun}}$$

$$Q_{\text{infjun}} = 335.329W$$

Julio

$$Q_{\text{infAjul}} := V_{\text{infventA}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot C_p \cdot (T_{\text{maxI},7} - T_{\text{slverano}})$$

$$Q_{\text{infBjul}} := V_{\text{infventB}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot C_p \cdot (T_{\text{maxI},7} - T_{\text{slverano}})$$

$$Q_{\text{influcjul}} := V_{\text{influc}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot C_p \cdot (T_{\text{maxI},7} - T_{\text{slverano}})$$

$$Q_{\text{infjul}} := Q_{\text{infAjul}} + Q_{\text{infBjul}} + Q_{\text{influcjul}}$$

$$Q_{\text{infjul}} = 650.127W$$

Agosto

$$Q_{\text{infAago}} := V_{\text{infventA}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot C_p \cdot (T_{\text{maxI},8} - T_{\text{slverano}})$$

$$Q_{\text{infBago}} := V_{\text{infventB}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot C_p \cdot (T_{\text{maxI},8} - T_{\text{slverano}})$$

$$Q_{\text{influcDago}} := V_{\text{influc}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot C_p \cdot (T_{\text{maxI},8} - T_{\text{slverano}})$$

$$Q_{\text{infagosto}} := Q_{\text{infAago}} + Q_{\text{infBago}} + Q_{\text{influcDago}}$$

$$Q_{\text{infagosto}} = 609.067W$$

Septiembre

$$Q_{\text{infAsep}} := V_{\text{infventA}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot C_p \cdot (T_{\text{maxI},9} - T_{\text{slverano}})$$

$$Q_{\text{infBsep}} := V_{\text{infventB}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot C_p \cdot (T_{\text{maxI},9} - T_{\text{slverano}})$$

$$Q_{\text{influcsep}} := V_{\text{influc}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot C_p \cdot (T_{\text{maxI},9} - T_{\text{slverano}})$$

$$Q_{\text{infsept}} := Q_{\text{infAsep}} + Q_{\text{infBsep}} + Q_{\text{influcsep}}$$

$$Q_{\text{infsept}} = 260.051W$$

Cargas internas

Ocupantes

$$Q_{\text{per}} := 70 \cdot \text{W} \quad n_B := 2 \quad n_C := 4 \quad n_D := 2$$

$$Q_{\text{ocuB}} := Q_{\text{per}} \cdot n_B \cdot 0.75 \quad Q_{\text{ocuC}} := Q_{\text{per}} \cdot n_C \cdot 0.75 \quad Q_{\text{ocuD}} := Q_{\text{per}} \cdot n_D \cdot 0.75$$

$$Q_{\text{ocup}} := Q_{\text{ocuB}} + Q_{\text{ocuC}} + Q_{\text{ocuD}} \quad Q_{\text{ocup}} = 420 \text{ W}$$

Iluminación

$$Q_{\text{luc}} := 15 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad A_B := 59.62 \text{ m}^2 \quad A_C := 45.1 \text{ m}^2 \quad A_D := 52.78 \text{ m}^2$$

$$Q_{\text{iluB}} := Q_{\text{luc}} \cdot A_B \quad Q_{\text{iluC}} := Q_{\text{luc}} \cdot A_C \quad Q_{\text{iluD}} := Q_{\text{luc}} \cdot A_D$$

$$Q_{\text{ilum}} := Q_{\text{iluB}} + Q_{\text{iluC}} + Q_{\text{iluD}} \quad Q_{\text{ilum}} = 2.362 \times 10^3 \text{ W}$$

Equipos

$$Q_{\text{equiposB}} := 103.8 \text{ W} \quad Q_{\text{equiposC}} := 103.8 \text{ W} \quad Q_{\text{equiposD}} := 103.8 \text{ W}$$

$$Q_{\text{equipos}} := Q_{\text{equiposB}} + Q_{\text{equiposC}} + Q_{\text{equiposD}} \quad Q_{\text{equipos}} = 311.4 \text{ W}$$

Carga Latente

Ventilación

$$w := (6 \ 6 \ 6.5 \ 7.7 \ 9.5 \ 13 \ 12 \ 11 \ 12 \ 10 \ 7 \ 6.5) \cdot 10^{-3}$$

$$w_{\text{lverano}} := 8.7 \cdot 10^{-3} \quad h_{\text{fg}} := 2260 \cdot 10^3 \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Junio

$$Q_{\text{latventBjun}} := V_{\text{ventB}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot h_{\text{fg}} \cdot (w_{1,6} - w_{\text{lverano}}) \quad Q_{\text{latventCjun}} := V_{\text{ventC}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot h_{\text{fg}} \cdot (w_{1,6} - w_{\text{lverano}})$$

$$Q_{\text{latventDjun}} := V_{\text{ventD}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot h_{\text{fg}} \cdot (w_{1,6} - w_{\text{lverano}})$$

$$Q_{\text{latventjun}} := Q_{\text{latventBjun}} + Q_{\text{latventCjun}} + Q_{\text{latventDjun}} \quad Q_{\text{latventjun}} = 1.647 \times 10^3 \text{ W}$$

Julio

$$Q_{\text{latventBjul}} := V_{\text{ventB}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot h_{\text{fg}} \cdot (w_{1,7} - w_{\text{Iverano}}) \quad Q_{\text{latventCjul}} := V_{\text{ventC}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot h_{\text{fg}} \cdot (w_{1,7} - w_{\text{Iverano}})$$

$$Q_{\text{latventDjul}} := V_{\text{ventD}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot h_{\text{fg}} \cdot (w_{1,7} - w_{\text{Iverano}})$$

$$Q_{\text{latventjul}} := Q_{\text{latventBjul}} + Q_{\text{latventCjul}} + Q_{\text{latventDjul}} \quad Q_{\text{latventjul}} = 1.264 \times 10^3 \text{ W}$$

Agosto

$$Q_{\text{latventBago}} := V_{\text{ventB}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot h_{\text{fg}} \cdot (w_{1,8} - w_{\text{Iverano}}) \quad Q_{\text{latventCago}} := V_{\text{ventC}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot h_{\text{fg}} \cdot (w_{1,8} - w_{\text{Iverano}})$$

$$Q_{\text{latventDago}} := V_{\text{ventD}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot h_{\text{fg}} \cdot (w_{1,8} - w_{\text{Iverano}})$$

$$Q_{\text{latventagosto}} := Q_{\text{latventBago}} + Q_{\text{latventCago}} + Q_{\text{latventDago}} \quad Q_{\text{latventagosto}} = 880.76 \text{ W}$$

Septiembre

$$Q_{\text{latventBsep}} := V_{\text{ventB}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot h_{\text{fg}} \cdot (w_{1,9} - w_{\text{Iverano}}) \quad Q_{\text{latventCsep}} := V_{\text{ventC}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot h_{\text{fg}} \cdot (w_{1,9} - w_{\text{Iverano}})$$

$$Q_{\text{latventDsep}} := V_{\text{ventD}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot h_{\text{fg}} \cdot (w_{1,9} - w_{\text{Iverano}})$$

$$Q_{\text{latventsept}} := Q_{\text{latventBsep}} + Q_{\text{latventCsep}} + Q_{\text{latventDsep}} \quad Q_{\text{latventsept}} = 1.264 \times 10^3 \text{ W}$$

Infiltraciones

Junio

$$Q_{\text{latinfAjun}} := V_{\text{infventA}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot h_{\text{fg}} \cdot (w_{1,6} - w_{\text{Iverano}}) \quad Q_{\text{latinfBjun}} := V_{\text{infventB}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot h_{\text{fg}} \cdot (w_{1,6} - w_{\text{Iverano}})$$

$$Q_{\text{latinflucjun}} := V_{\text{influc}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot h_{\text{fg}} \cdot (w_{1,6} - w_{\text{Iverano}})$$

$$Q_{\text{latinfjun}} := Q_{\text{latinfAjun}} + Q_{\text{latinfBjun}} + Q_{\text{latinflucjun}} \quad Q_{\text{latinfjun}} = 661.737 \text{ W}$$

Julio

$$Q_{\text{latinfAjul}} := V_{\text{infventA}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot h_{\text{fg}} \cdot (w_{1,7} - w_{\text{Iverano}}) \quad Q_{\text{latinfBjul}} := V_{\text{infventB}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot h_{\text{fg}} \cdot (w_{1,7} - w_{\text{Iverano}})$$

$$Q_{\text{latinflucjul}} := V_{\text{influc}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot h_{\text{fg}} \cdot (w_{1,7} - w_{\text{Iverano}})$$

$$Q_{\text{latinfjul}} := Q_{\text{latinfAjul}} + Q_{\text{latinfBjul}} + Q_{\text{latinflucjul}} \quad Q_{\text{latinfjul}} = 507.845 \text{ W}$$

Agosto

$$Q_{\text{latinfAago}} := V_{\text{infventA}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot h_{\text{fg}} \cdot (w_{1,8} - w_{\text{Iverano}}) \quad Q_{\text{latinfBago}} := V_{\text{infventB}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot h_{\text{fg}} \cdot (w_{1,8} - w_{\text{Iverano}})$$

$$Q_{\text{latinflucDago}} := V_{\text{influc}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot h_{\text{fg}} \cdot (w_{1,8} - w_{\text{Iverano}})$$

$$Q_{\text{latinfagosto}} := Q_{\text{latinfAago}} + Q_{\text{latinfBago}} + Q_{\text{latinflucDago}} \quad Q_{\text{latinfagosto}} = 353.953 \text{ W}$$

Septiembre

$$Q_{\text{latinfAsep}} := V_{\text{infventA}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot h_{\text{fg}} \cdot (w_{1,9} - w_{\text{Iverano}}) \quad Q_{\text{latinfBsep}} := V_{\text{infventB}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot h_{\text{fg}} \cdot (w_{1,9} - w_{\text{Iverano}})$$

$$Q_{\text{latinfBsep}} := V_{\text{infventB}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot h_{\text{fg}} \cdot (w_{1,9} - w_{\text{Iverano}})$$

$$Q_{\text{latinfsep}} := Q_{\text{latinfAsep}} + Q_{\text{latinfBsep}} + Q_{\text{latinfBsep}} \quad Q_{\text{latinfsep}} = 507.845 \text{ W}$$

Carga interna

Ocupantes

$$Q_{\text{latper}} := 60 \cdot \text{W}$$

$$Q_{\text{latocuB}} := Q_{\text{latper}} \cdot n_B \cdot 0.75 \quad Q_{\text{latocuC}} := Q_{\text{latper}} \cdot n_C \cdot 0.75 \quad Q_{\text{latocuD}} := Q_{\text{latper}} \cdot n_D \cdot 0.75$$

$$Q_{\text{latocup}} := Q_{\text{latocuB}} + Q_{\text{latocuC}} + Q_{\text{latocuD}} \quad Q_{\text{latocup}} = 360 \text{ W}$$

Resultados

$$Q_{\text{sensiblejunio}} := Q_{\text{transjunio}} + Q_{\text{radjunio}} + Q_{\text{ventjun}} + Q_{\text{infjun}} + Q_{\text{ocup}} + Q_{\text{ilum}} + Q_{\text{equipos}}$$

$$Q_{\text{latentejunio}} := Q_{\text{latventjun}} + Q_{\text{latinfjun}} + Q_{\text{latocup}}$$

$$Q_{\text{sensiblejulio}} := Q_{\text{transjulio}} + Q_{\text{radjul}} + Q_{\text{ventjul}} + Q_{\text{infjul}} + Q_{\text{ocup}} + Q_{\text{ilum}} + Q_{\text{equipos}}$$

$$Q_{\text{latentejulio}} := Q_{\text{latventjul}} + Q_{\text{latinfjul}} + Q_{\text{latocup}}$$

$$Q_{\text{sensibleagosto}} := Q_{\text{transagosto}} + Q_{\text{radagosto}} + Q_{\text{ventagosto}} + Q_{\text{infagosto}} + Q_{\text{ocup}} + Q_{\text{ilum}} + Q_{\text{equipos}}$$

$$Q_{\text{latenteagosto}} := Q_{\text{latventagosto}} + Q_{\text{latinfagosto}} + Q_{\text{latocup}}$$

$$Q_{\text{sensiblesept}} := Q_{\text{transsept}} + Q_{\text{radsept}} + Q_{\text{ventsept}} + Q_{\text{infsept}} + Q_{\text{ocup}} + Q_{\text{ilum}} + Q_{\text{equipos}}$$

$$Q_{\text{latentesept}} := Q_{\text{latventsept}} + Q_{\text{latinfsept}} + Q_{\text{latocup}}$$

$$Q_{\text{climatjunio}} := (Q_{\text{sensiblejunio}} + Q_{\text{latentejunio}}) \cdot 1.05 \quad Q_{\text{climatjulio}} := (Q_{\text{sensiblejulio}} + Q_{\text{latentejulio}}) \cdot 1.05$$

$$Q_{\text{climatagosto}} := (Q_{\text{sensibleagosto}} + Q_{\text{latenteagosto}}) \cdot 1.05 \quad Q_{\text{climatsept}} := (Q_{\text{sensiblesept}} + Q_{\text{latentesept}}) \cdot 1.05$$

$$Q_{\text{climatjunio}} = 1.004 \times 10^4 \text{ W}$$

$$Q_{\text{climatjulio}} = 1.095 \times 10^4 \text{ W}$$

$$Q_{\text{climatagosto}} = 1.008 \times 10^4 \text{ W}$$

$$Q_{\text{climatsept}} = 9.106 \times 10^3 \text{ W}$$

Cargas Térmicas de calefacción.

Los datos iniciales son los mismos para los dos programas.

Calefacción

$$T_{\text{Invierno}} := 22 \quad \Delta T_{\text{local}} := \frac{(T_{\text{Invierno}} + T_{\text{min}})}{2}$$

Carga sensible

Cargas por transmisión

$$Q_{\text{tmuroext}} := U_{\text{me}} \cdot A_{\text{muroext}} \cdot (T_{\text{Invierno}} - T_{\text{min}}) \cdot K \quad Q_{\text{ttecho}} := U_{\text{tcalef}} \cdot A_{\text{techo}} \cdot (T_{\text{Invierno}} - T_{\text{min}}) \cdot K$$

$$Q_{\text{tventA}} := U_{\text{vA}} \cdot A_{\text{ventanaA}} \cdot (T_{\text{Invierno}} - T_{\text{min}}) \cdot K \quad Q_{\text{tventB}} := U_{\text{vB}} \cdot A_{\text{ventanaB}} \cdot (T_{\text{Invierno}} - T_{\text{min}}) \cdot K$$

$$Q_{\text{tluc}} := U_{\text{luc}} \cdot A_{\text{luc}} \cdot (T_{\text{Invierno}} - T_{\text{min}}) \cdot K \quad Q_{\text{tpuertas}} := A_{\text{puertas}} \cdot U_{\text{puertas}} \cdot (T_{\text{Invierno}} - \Delta T_{\text{local}}) \cdot K$$

$$Q_{\text{tmuroint}} := A_{\text{nocalef}} \cdot U_{\text{mi}} \cdot (T_{\text{Invierno}} - \Delta T_{\text{local}}) \cdot K$$

$$Q_t := Q_{\text{tmuroext}} + Q_{\text{ttecho}} + Q_{\text{tventA}} + Q_{\text{tventB}} + Q_{\text{tluc}} + Q_{\text{tpuertas}} + Q_{\text{tmuroin}}$$

$$Q_t =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	2.863·10 ³	2.362·10 ³	2.173·10 ³	1.95·10 ³	1.504·10 ³	1.036·10 ³	668.475	657.334	1.014·10 ³	1.571·10 ³	2.061·10 ³	2.329·10 ³

W

Cargas por ventilación

$$C_p := 1005 \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \rho_{\text{aire}} := 1.3 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$V_{\text{ventB}} := 41.84 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad V_{\text{ventC}} := 47.88 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad V_{\text{ventD}} := 40.62 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q_{\text{ventB}} := V_{\text{ventB}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot C_p \cdot (T_{\text{Invierno}} - T_{\text{min}}) \cdot K \quad Q_{\text{ventC}} := V_{\text{ventC}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot C_p \cdot (T_{\text{Invierno}} - T_{\text{min}}) \cdot K$$

$$Q_{\text{ventD}} := V_{\text{ventD}} \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot C_p \cdot (T_{\text{Invierno}} - T_{\text{min}}) \cdot K$$

$$Q_{\text{vent}} := Q_{\text{ventB}} + Q_{\text{ventC}} + Q_{\text{ventD}}$$

$$Q_{\text{vent}} =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	4.376·10 ³	3.61·10 ³	3.321·10 ³	2.98·10 ³	2.299·10 ³	1.584·10 ³	1.022·10 ³	1.005·10 ³	1.55·10 ³	2.401·10 ³	3.15·10 ³	3.559·10 ³

W

Infiltraciones

$$V_{\text{infventA}} := 0.0198 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad V_{\text{infventB}} := 0.0153 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad V_{\text{influc}} := 0.01728 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q_{\text{infA}} := V_{\text{infventA}} \rho_{\text{aire}} \cdot C_p \cdot (T_{\text{stInvierno}} - T_{\text{min}}) \cdot K \quad Q_{\text{infB}} := V_{\text{infventB}} \rho_{\text{aire}} \cdot C_p \cdot (T_{\text{stInvierno}} - T_{\text{min}}) \cdot K$$

$$Q_{\text{influc}} := V_{\text{influc}} \rho_{\text{aire}} \cdot C_p \cdot (T_{\text{stInvierno}} - T_{\text{min}}) \cdot K$$

$$Q_{\text{inf}} := Q_{\text{infA}} + Q_{\text{infB}} + Q_{\text{influc}}$$

$$Q_{\text{inf}} =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1.759 · 10 ³	1.451 · 10 ³	1.334 · 10 ³	1.198 · 10 ³	923.865	636.441	410.607	403.763	622.754	964.926	1.266 · 10 ³	1.43 · 10 ³

W

Cargas internas

Se busca la situación más desfavorable

Ocupantes:

Vamos a suponer que hay al menos una persona en la casa en el momento de máxima necesidad

$$Q_{\text{per}} := 70 \cdot W$$

$$Q_{\text{ocup}} := Q_{\text{per}} \cdot 3$$

Iluminación

Vamos a multiplicar por un factor ya que buscamos el caso más desfavorable

$$Q_{\text{luc}} := 15 \cdot \frac{W}{\text{m}^2} \quad A_B := 59.62 \cdot \text{m}^2 \quad A_C := 45.1 \cdot \text{m}^2 \quad A_D := 52.78 \cdot \text{m}^2 \quad f := 0.2$$

$$Q_{\text{iluB}} := Q_{\text{luc}} \cdot A_B \cdot f \quad Q_{\text{iluC}} := Q_{\text{luc}} \cdot A_C \cdot f \quad Q_{\text{iluD}} := Q_{\text{luc}} \cdot A_D \cdot f$$

$$Q_{\text{ilum}} := Q_{\text{iluB}} + Q_{\text{iluC}} + Q_{\text{iluD}}$$

Equipo:

$$Q_{\text{equiposB}} := 103.8W$$

$$Q_{\text{equiposC}} := 103.8W$$

$$Q_{\text{equiposD}} := 103.8W$$

$$Q_{\text{equipos}} := Q_{\text{equiposB}} + Q_{\text{equiposC}} + Q_{\text{equiposD}}$$

Carga latente

$$w_{med} := (4.2 \ 4.5 \ 4.7 \ 5 \ 6 \ 7.7 \ 8.5 \ 9.7 \ 8.7 \ 8 \ 5.5 \ 5.7) \cdot 10^{-3}$$

$$w_{linvierno} := 8.3 \cdot 10^{-3} \quad h_{fg} := 2260 \cdot 10^3 \cdot \frac{J}{kg}$$

$$Q_{latventB} := V_{ventB} \rho_{aire} \cdot h_{fg} \cdot (w_{linvierno} - w_{med}) \quad Q_{latventC} := V_{ventC} \rho_{aire} \cdot h_{fg} \cdot (w_{linvierno} - w_{med})$$

$$Q_{latventD} := V_{ventD} \rho_{aire} \cdot h_{fg} \cdot (w_{linvierno} - w_{med})$$

$$Q_{latvent} := Q_{latventB} + Q_{latventC} + Q_{latventI}$$

Infiltraciones

$$Q_{latinfA} := V_{infventA} \rho_{aire} \cdot h_{fg} \cdot (w_{linvierno} - w_{med}) \quad Q_{latinfB} := V_{infventB} \rho_{aire} \cdot h_{fg} \cdot (w_{linvierno} - w_{med})$$

$$Q_{latinfluc} := V_{influc} \rho_{aire} \cdot h_{fg} \cdot (w_{linvierno} - w_{med})$$

$$Q_{latinf} := Q_{latinfA} + Q_{latinfB} + Q_{latinfluc}$$

Ocupantes

$$Q_{latper} := 60 \cdot W$$

$$Q_{latocup} := Q_{latper}^3$$

Resultado

$$Q_{\text{sensible}} := Q_t + Q_{\text{vent}} + Q_{\text{inf}} - Q_{\text{ocup}} - Q_{\text{ilum}} - Q_{\text{equipos}}$$

$$Q_{\text{latente}} := Q_{\text{latvent}} + Q_{\text{latinf}} + Q_{\text{latocup}}$$

$$Q_{\text{calefaccion}} := (Q_{\text{sensible}} + Q_{\text{latente}}) \cdot 1.1$$

$$Q_{\text{calefaccion}_{1,1}} = 1.142 \times 10^4 \text{ W}$$

$$Q_{\text{calefaccion}_{1,2}} = 9.514 \times 10^3 \text{ W}$$

$$Q_{\text{calefaccion}_{1,3}} = 8.741 \times 10^3 \text{ W}$$

$$Q_{\text{calefaccion}_{1,4}} = 7.794 \times 10^3 \text{ W}$$

$$Q_{\text{calefaccion}_{1,5}} = 5.662 \times 10^3 \text{ W}$$

$$Q_{\text{calefaccion}_{1,10}} = 4.712 \times 10^3 \text{ W}$$

$$Q_{\text{calefaccion}_{1,11}} = 7.883 \times 10^3 \text{ W}$$

$$Q_{\text{calefaccion}_{1,12}} = 8.69 \times 10^3 \text{ W}$$

Programa de pérdidas en el colector.

Algunos datos no los pondré ya que se el cálculo se realiza iterando y usando valores iniciales, por lo que pondré solo los conceptos más importantes del programa.

Datos iniciales

$$\begin{aligned} \eta_0 &:= 0.786 & k_1 &:= 3.62 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} & \rho_1 &:= 1020 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} & \mu_1 &:= 0.002 \cdot \text{Pa} \cdot \text{s} & A_{\text{abs}} &:= 1.879 \cdot \text{m}^2 \\ A_{\text{col}} &:= 2.0909 \cdot \text{m}^2 & C_{p1} &:= 3800 \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \\ I_{\text{m}} &:= (220 \ 306 \ 434 \ 528 \ 584 \ 690 \ 733 \ 639 \ 545 \ 360 \ 274 \ 221) \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \\ k_{\text{m}} &:= (1.37 \ 1.27 \ 1.15 \ 1.03 \ 0.94 \ 0.91 \ 0.94 \ 1.04 \ 1.19 \ 1.37 \ 1.48^{\text{m}} \ 1.46) \\ T_0 &:= (6 \ 8 \ 11 \ 13 \ 17 \ 22 \ 26 \ 26 \ 22 \ 16 \ 11 \ 7) \cdot \text{K} + 273 \cdot \text{K} \\ m_{\text{vol}} &:= 100 \cdot \frac{1}{\text{hr}} & m_1 &:= m_{\text{vol}} \cdot \rho_1 \end{aligned}$$

Cálculo resistencias térmicas de conducción

$$\begin{aligned} e_{\text{cristal}} &:= 4 \cdot 10^{-3} \cdot \text{m} & k_{\text{cristal}} &:= 1.16 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} & A_{\text{cristal}} &:= 1.92 \cdot \text{m}^2 \\ e_{\text{ais}} &:= 40 \cdot 10^{-3} \cdot \text{m} & k_{\text{ais}} &:= 0.036 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} & A_{\text{ais}} &:= 1.92 \cdot \text{m}^2 \\ e_{\text{caja}} &:= 2 \cdot 10^{-3} \cdot \text{m} & k_{\text{caja}} &:= 209.3 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} & A_{\text{caja}} &:= 2.09 \cdot \text{m}^2 \\ r_2 &:= 8 \cdot 10^{-3} \cdot \text{m} & r_1 &:= 7.5 \cdot 10^{-3} \cdot \text{m} & k_{\text{tubo}} &:= 389.6 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} & L_{\text{tubo}} &:= 1.93 \cdot \text{m} \end{aligned}$$

$$R_{\text{placa}} := 0.012 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{caja}} := \frac{e_{\text{caja}}}{k_{\text{caja}} \cdot A_{\text{caja}}} \quad R_{\text{caja}} = 4.572 \times 10^{-6} \frac{\text{K} \cdot \text{s}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{kg}}$$

$$R_{\text{ais}} := \frac{e_{\text{ais}}}{k_{\text{ais}} \cdot A_{\text{ais}}} \quad R_{\text{ais}} = 0.579 \frac{\text{K} \cdot \text{s}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{kg}}$$

$$R_{\text{cristal}} := \frac{e_{\text{cristal}}}{k_{\text{cristal}} \cdot A_{\text{cristal}}} \quad R_{\text{cristal}} = 1.796 \times 10^{-3} \frac{\text{K} \cdot \text{s}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{kg}}$$

$$R_{\text{tubo}} := \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k_{\text{tubo}} \cdot L_{\text{tubo}}} \quad R_{\text{tubo}} = 1.366 \times 10^{-5} \frac{\text{K} \cdot \text{s}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{kg}}$$

$$R_{\text{Ttubo}} := \frac{R_{\text{tubo}}}{9} \quad R_{\text{Ttubo}} = 1.518 \times 10^{-6} \frac{\text{K} \cdot \text{s}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{kg}}$$

$$R_{\text{down}} := R_{\text{placa}} + R_{\text{ais}} + R_{\text{caja}}$$

Convección forzada, flujo cruzado en la cubierta

$$v_{\text{viento}} := (12.5 \quad 13.129 \quad 14.07 \quad 12.85 \quad 12.52 \quad 12.32 \quad 12.14 \quad 11.99 \quad 11.06 \quad 11.06 \quad 10.33 \quad 11.11) \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

Dirección predominante: Sur

$$\rho_{\text{aire}} := 1.1614 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad L_{\text{cristal}} := 1.930 \cdot \text{m} \quad \mu_{\text{aire}} := 184.6 \cdot 10^{-7} \cdot \text{Pa} \cdot \text{s} \quad k_{\text{aire}} := 26.3 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$Re_{\text{PF}} := \frac{\rho_{\text{aire}} \cdot v_{\text{viento}} \cdot L_{\text{cristal}}}{\mu_{\text{aire}}} \quad Pr := 0.707$$

$$Nu_{\text{PF}} := 3.846 \cdot Re_{\text{PF}}^{0.325} \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \quad h_{\text{forzadaext}} := \frac{Nu_{\text{PF}} \cdot k_{\text{aire}}}{L_{\text{cristal}}}$$

$$R_{\text{convcristal}} := \frac{1}{h_{\text{forzadaext}} \cdot A_{\text{cristal}}}$$

$$R_{\text{convcristal}} =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	$\frac{\text{K} \cdot \text{s}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{kg}}$
1	0.166	0.163	0.159	0.164	0.166	0.167	0.167	0.168	0.172	0.172	0.176	0.172	

Cálculo resistencias térmicas radiación

$$\varepsilon_{\text{cristal}} := 0.2 \quad \varepsilon_{\text{placa}} := 0.05 \quad \sigma := 5.67 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \quad T_{\text{cristal}} := \overrightarrow{(1.042 \cdot T_0 - 1.762 \cdot \text{K})}$$

$$T_{01} := (6 \ 8 \ 11 \ 13 \ 17 \ 22 \ 26 \ 26 \ 22 \ 16 \ 11 \ 7) + 273$$

$$T_{\text{cielo}} := 0.037536 \cdot T_{01}^{1.5} \cdot \text{K} + 0.32 \cdot T_0$$

Radiación exterior entre el cristal y el ambiente

$$T_{\text{cuad}} := \overrightarrow{\left[(T_{\text{cristal}})^2 + (T_{\text{cielo}})^2 \right]} \quad T_{\text{sum}} := T_{\text{cristal}} + T_{\text{cielo}}$$

$$T_{\text{prod}} := \overrightarrow{(T_{\text{cuad}} \cdot T_{\text{sum}})}$$

$$R_{\text{radE}} := \frac{1}{\varepsilon_{\text{cristal}} \cdot \sigma \cdot A_{\text{cristal}} \cdot T_{\text{prod}}}$$

$$R_{\text{radE}} =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	$\frac{\text{K} \cdot \text{s}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{kg}}$
	1	0.542	0.528	0.509	0.497	0.474	0.446	0.426	0.426	0.446	0.479	0.509	0.535

$$q_1 := \frac{T_{\text{cristal}} - T_{\text{cielo}}}{R_{\text{radE}}} \quad q_2 := \frac{T_{\text{cristal}} - T_0}{R_{\text{convercristal}}}$$

$$T_{\text{cristalint}} := (q_1 + q_2) \cdot R_{\text{cristal}} + T_{\text{cristal}}$$

Radiación interior entre la placa y el cristal

$$R_{\text{radI}} := \frac{(\varepsilon_{\text{cristal}} + \varepsilon_{\text{placa}} - \varepsilon_{\text{cristal}} \cdot \varepsilon_{\text{placa}})}{\varepsilon_{\text{cristal}} \cdot \varepsilon_{\text{placa}} \cdot \sigma \cdot A_{\text{abs}} \cdot \overrightarrow{\left[\left[(T_{\text{placa}})^2 + (T_{\text{cristalint}})^2 \right] \cdot (T_{\text{placa}} + T_{\text{cristalint}}) \right]}}$$

$$R_{\text{radI}} =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	$\frac{\text{K} \cdot \text{s}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{kg}}$
	1	2.213	2.085	1.919	1.827	1.749	1.611	1.505	1.544	1.607	1.856	2.025	2.189

Convección interior tubos

$$D_{\text{int}} := 7.5 \cdot 10^{-3} \cdot \text{m} \quad m_D := \frac{m_l}{9} \quad Pr_l := 20 \quad k_{\text{mezcla}} := 0.44 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$Re_D := \frac{4 \cdot m_D}{\pi \cdot D_{\text{int}} \cdot \mu_l} \quad Nu_D := 0.023 \cdot Re_D^{\frac{4}{5}} \cdot Pr_l^{0.4} \quad h_D := \frac{Nu_D \cdot k_{\text{mezcla}}}{D_{\text{int}}}$$

$$R_{\text{convmezcla}} := \frac{1}{h_D \cdot \pi \cdot D_{\text{int}} \cdot L_{\text{tubo}}} \quad R_{T\text{convmezcla}} := \frac{R_{\text{convmezcla}}}{9} \quad L_{\text{tubo}} = 1.93 \text{ m}$$

$$R_{T\text{convmezcla}} = 6.251 \times 10^{-3} \frac{\text{K} \cdot \text{s}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{kg}}$$

$$R_{\text{util}} := R_{\text{placa}} + R_{T\text{tubo}} + R_{T\text{convmezcla}} \quad R_{\text{util}} = 0.018 \frac{\text{K} \cdot \text{s}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{kg}}$$

Convección natural aire interior

$$L_{\text{conv}} := 31 \cdot 10^{-3} \cdot \text{m} \quad v_m := 16.414 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad \alpha_m := 23.557 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad k_{\text{conv}} := 26.828 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$T_m := \frac{T_{\text{cristalint}} + T_{\text{placa}}}{2} \quad \beta := \frac{1}{T_m}$$

$$Ra_L := \frac{g \cdot [\beta \cdot (T_{\text{placa}} - T_{\text{cristalint}})] \cdot L_{\text{conv}}^3}{v_m \cdot \alpha_m}$$

$$Nu_l := 4.328 \cdot 10^{-10} \cdot Ra_L^{\frac{1}{2}} - 1.478 \cdot 10^{-6} \cdot Ra_L + 1.001$$

$$h_i := \frac{Nu_l \cdot k_{\text{conv}}}{L_{\text{conv}}} \quad R_{\text{convnaturalint}} := \frac{1}{h_i \cdot A_{\text{abs}}}$$

$$R_{\text{convnaturalint}} =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	$\frac{\text{K} \cdot \text{s}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{kg}}$
1	0.495	0.347	0.212	0.165	0.163	0.127	0.104	0.125	0.125	0.254	0.357	0.494	

Convección natural parte posterior del colector

$$T_{\text{caja}} := 1.021 \cdot T_0 - 1.762 \cdot K \quad T_f := \frac{T_{\text{caja}} + T_0}{2}$$

$$\text{Perimetro} := 6.12 \cdot \text{m} \quad L_{\text{convpost}} := \frac{A_{\text{col}}}{\text{Perimetro}} \quad g_{\text{conv}} := g \cdot \cos\left(51 \cdot \frac{\pi}{180}\right)$$

$$\nu_f := 15.064 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad \alpha_f := 21.27 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad k_f := 25.26 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \beta_f := \frac{1}{T_f}$$

$$Ra_{Lf} := \frac{g_{\text{conv}} \cdot [\beta_f (T_{\text{caja}} - T_0)] \cdot L_{\text{convpost}}^3}{\nu_f \cdot \alpha_f}$$

$$Nu_{Lf} := 0.27 \cdot (Ra_{Lf})^{\frac{1}{4}} \quad h_{Lf} := \frac{Nu_{Lf} \cdot k_f}{L_{\text{convpost}}}$$

$$R_{\text{convpost}} := \frac{1}{h_{Lf} \cdot A_{\text{col}}}$$

$$R_{\text{convpost}} =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	$\frac{\text{K} \cdot \text{s}}{\text{m}^2 \cdot \text{kg}}$
1	0.414	0.414	0.413	0.413	0.413	0.412	0.411	0.411	0.412	0.413	0.413	0.414	

Ecuaciones

Given

$$G_{3m} = Q_{\text{util}} + Q_{\text{pdown}} + Q_{\text{pup}}$$

$$Q_{\text{util}} = \frac{T_{\text{placam}} - \left(\frac{T_{\text{cim}} + T_{\text{com}}}{2}\right)}{R_{\text{utilm}}}$$

$$Q_{\text{pdown}} = \frac{T_{\text{placam}} - T_{0m}}{R_{\text{downm}} + R_{\text{convpostm}}}$$

$$Q_{\text{pup}} = \frac{\left[\left(R_{\text{convcristalm}} \cdot T_{\text{cristalintm}} \right) - \left[\frac{R_{\text{radEm}} R_{\text{convcristalm}}}{R_{\text{convnaturalintm}} \cdot R_{\text{radlm}}} \cdot (T_{\text{placam}} - T_{\text{cristalintm}}) \right] + \left[\left(R_{\text{radEm}} \cdot T_{\text{cristalintm}} \right) - \left(R_{\text{convcristalm}} \cdot T_{\text{cielom}} \right) - \left(R_{\text{radEm}} \cdot T_{0m} \right) \right]}{R_{\text{cristalm}} (R_{\text{convcristalm}} + R_{\text{radEm}})}$$

$$R_{\text{convnaturalintm}} = \frac{1}{A_{\text{absm}} \cdot \frac{k_{\text{convm}}}{L_{\text{convm}}} \left[4.328 \cdot 10^{-10} \cdot \left[\frac{g_m [\beta_m (T_{\text{placam}} - T_{\text{cristalintm}})] \cdot L_{\text{convm}}^3}{\nu_{mm} \alpha_{mm}} \right]^2 - 1.478 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{g_m [\beta_m (T_{\text{placam}} - T_{\text{cristalintm}})] \cdot L_{\text{convm}}^3}{\nu_{mm} \alpha_{mm}} + 1.001 \right]}$$

$$R_{radIm} = \frac{(\epsilon_{cristal} + \epsilon_{placa} - \epsilon_{cristal} \cdot \epsilon_{placa})}{\epsilon_{cristal} \cdot \epsilon_{placa} \cdot \sigma_m \cdot A_{absm} \cdot \left[\left[(T_{placam})^2 + (T_{cristalintm})^2 \right] \cdot (T_{placam} + T_{cristalintm}) \right]}$$

$$Q_{util} = m_{Im} \cdot C_{pIm} \cdot (T_{com} - T_{cim})$$

$$\begin{pmatrix} \text{var1} \\ \text{var2} \\ \text{var3} \\ \text{var4} \\ \text{var5} \\ \text{var6} \\ \text{var7} \end{pmatrix} := \text{Find}(Q_{util}, Q_{pdown}, Q_{pup}, T_{placam}, T_{cristalintm}, R_{convnaturalintm}, R_{radIm})$$

Programa de instalación para ACS medio anual.

Datos de partida

Radiación media anual $I_m := 461.2 \cdot \frac{W}{m^2}$

Factor de corrección medio anual $k_m := 1.18$

$\eta_0 := 0.786$

$I_{Tm} := I_m \cdot k_m \cdot \eta_0$ $I_{Tm} = 427.754 \frac{kg}{s}$

Datos colector $A_{col} := 2.0909 \cdot m^2$

$n := 21$ $A_o := 0.5 \cdot n \cdot m^2$ $A_o = 10.5 m^2$ $n_{col} := \frac{A_o}{A_{col}}$ $n_{col} = 5.022$

$n_{coli} := 5$ $A_{abs} := 1.879 \cdot m^2$

Eficiencia intercambiador $\varepsilon_i := 0.7$

Temperaturas medias:

Ambiente : $T_0 := (15.42 + 273.15) \cdot K$

Agua de la red: $T_{red} := (9.3 + 273.15) \cdot K$

Datos fluidos:

Agua : $\rho_{agua} := 1000 \cdot \frac{kg}{m^3}$ $\rho_2 := \rho_{agua}$

$C_{pagua} := 4179 \cdot \frac{J}{kg \cdot K}$ $C_{p2} := C_{pagua}$ $C_{pcons} := C_{pagua}$

Agua - Propilenglicol $\rho_{mezcla} := 1020 \cdot \frac{kg}{m^3}$ $\rho_1 := \rho_{mezcla}$

$C_{pmezcla} := 3800 \cdot \frac{J}{kg \cdot K}$ $C_{p1} := C_{pmezcla}$



Caudales:

$$\text{Circuito primario:} \quad m_{\text{vol}} := 100 \cdot \frac{1}{\text{hr}} \quad m_{1\text{total}} := m_{\text{vol}} \cdot \rho_1 \cdot n_{\text{coli}}$$

$$\text{Circuito secundario:} \quad m_2 := m_{\text{vol}} \quad m_{2\text{total}} := m_2 \cdot \rho_2 \cdot n_{\text{coli}}$$

$$\text{Circuito terciario:} \quad m_{\text{consdia}} := 462 \cdot l \quad h_{\text{sol}} := 8.92 \cdot \text{hr}$$

$$m_{\text{cons}} := \frac{m_{\text{consdia}} \cdot \rho_2}{h_{\text{sol}}}$$

Datos iniciales:

$$T_{\text{sum}} := (60 + 273.15) \cdot \text{K}$$

$$C_{\text{min}} := \min(m_{1\text{total}} \cdot C_{p1}, m_{2\text{total}} \cdot C_{p2}) \quad C_{\text{min}} = 538.333 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{kg}}{\text{K} \cdot \text{s}^3}$$

$$E_T := 0.25 \quad f := 0.7 \quad n_{\text{coli}} = 5$$

$$T_{\text{ci}} := 311 \cdot \text{K} \quad T_{\text{co}} := 314 \cdot \text{K} \quad T_{\text{ici}} := 293 \cdot \text{K} \quad T_{\text{ico}} := 297 \cdot \text{K} \quad T_t := 300 \cdot \text{K} \quad T_{\text{cons}} := 301 \cdot \text{K}$$

$$Q_{\text{pup}} := 428.589 \cdot \text{W} \quad Q_{\text{pdown}} := 39.011 \cdot \text{W}$$

Adimensionalizo

$$\begin{aligned} a &:= 1 \cdot \frac{1}{\text{K}} & b &:= 1 \cdot \frac{\text{m}^2 \cdot \text{kg}}{\text{K} \cdot \text{s}^3} & d &:= 1 \cdot \frac{1}{\text{W}} & g_a &:= 1 \cdot \frac{\text{s}^2}{\text{m}} & A_a &:= 1 \cdot \frac{1}{\text{m}^2} & k_a &:= 1 \cdot \frac{\text{s}^3 \cdot \text{K}}{\text{m} \cdot \text{kg}} \\ L_a &:= 1 \cdot \frac{1}{\text{m}} & v_a &:= 1 \cdot \frac{\text{s}}{\text{m}^2} & \alpha_a &:= v_a & \sigma_a &:= 1 \cdot \frac{\text{s}^3 \cdot \text{K}^4}{\text{kg}} & C_{pa} &:= 1 \cdot \frac{\text{s}^2 \cdot \text{K}}{\text{m}} & m_a &:= 1 \cdot \frac{\text{s}}{\text{kg}} \\ I_a &:= 1 \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{W}} \end{aligned}$$

$$C_{p1m} := C_{p1} \cdot C_{pa} \quad C_{p2m} := C_{p2} \cdot C_{pa} \quad C_{p\text{cons}m} := C_{p2m} \quad T_{\text{icim}} := T_{\text{ici}} \cdot a$$

$$T_{\text{summ}} := T_{\text{sum}} \cdot a \quad T_{\text{cim}} := T_{\text{ci}} \cdot a \quad T_{\text{com}} := T_{\text{co}} \cdot a \quad T_{\text{icom}} := T_{\text{ico}} \cdot a$$

$$T_{\text{cons}m} := T_{\text{cons}} \cdot a \quad T_{\text{red}m} := T_{\text{red}} \cdot a \quad Q_{\text{pup}m} := Q_{\text{pup}} \cdot d \quad Q_{\text{pdown}m} := Q_{\text{pdown}} \cdot d$$

$$m_{1\text{total}m} := m_{1\text{total}} \cdot m_a \quad m_{2\text{total}m} := m_{2\text{total}} \cdot m_a \quad m_{\text{cons}m} := m_{\text{cons}} \cdot m_a \quad T_{tm} := T_t \cdot a$$

$$I_{Tmm} := I_{Tm} \cdot I_a \quad A_{\text{col}m} := A_{\text{col}} \cdot A_a \quad C_{\text{min}m} := \frac{C_{\text{min}}}{b} \quad A_m := A_{\text{col}m} \cdot n_{\text{coli}}$$

$$Q_{\text{pc}} := (Q_{\text{pup}m} + Q_{\text{pdown}m}) \cdot n_{\text{coli}}$$

Sistema de ecuaciones

Given

$$Q_{pc} = I_{Tmm} \cdot A_m - m_{1totalm} \cdot C_{p1m} \cdot (T_{com} - T_{cim})$$

$$m_{1totalm} \cdot C_{p1m} \cdot (T_{com} - T_{cim}) = m_{2totalm} \cdot C_{p2m} \cdot (T_{icom} - T_{icim})$$

$$\varepsilon_i = \frac{m_{2totalm} \cdot C_{p2m} \cdot (T_{icom} - T_{icim})}{C_{minm} \cdot (T_{com} - T_{icim})}$$

$$f = \frac{T_{consm} - T_{redm}}{T_{summ} - T_{redm}}$$

$$m_{2totalm} \cdot C_{p2m} \cdot (T_{icom} - T_{icim}) = m_{consm} \cdot C_{pconsm} \cdot (T_{consm} - T_{redm})$$

$$T_{tm} = \frac{T_{icom} \cdot m_{2totalm} + T_{redm} \cdot m_{consm}}{m_{2totalm} + m_{consm}}$$

$$E_T = \frac{T_{consm} - T_{tm}}{T_{icom} - T_{tm}}$$

$$\text{Find}(T_{cim}, T_{com}, T_{icim}, T_{icom}, T_{consm}, T_{tm}, A_m) = \begin{pmatrix} 317.942 \\ 321.906 \\ 316.951 \\ 320.628 \\ 317.94 \\ 317.044 \\ 10.454 \end{pmatrix}$$

Programa para la instalación de ACS medio mensual.

Datos de partida

Radiación mensual

$$I_m := (220 \ 306 \ 434 \ 528 \ 584 \ 690 \ 733 \ 639 \ 545 \ 360 \ 274 \ 221) \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Factor de corrección mensual

$$k_m := (1.37 \ 1.27 \ 1.15 \ 1.03 \ 0.94 \ 0.91 \ 0.94 \ 1.04 \ 1.19 \ 1.37 \ 1.48 \ 1.46)$$

$$\eta_0 := 0.786$$

Radiación que llega a la placa por mes

$$I_T := \overrightarrow{(I_m \cdot k_m)} \cdot \eta_0$$

Datos colector

$$n_{\text{col}} := 6 \quad A_{\text{col}} := 2.0909 \cdot \text{m}^2$$

Eficiencia intercambiador $\epsilon_i := 0.7$

Temperaturas

Ambiente

$$T_0 := (6 \ 8 \ 11 \ 13 \ 17 \ 22 \ 26 \ 26 \ 22 \ 16 \ 11 \ 7) \cdot \text{K} + 273.15 \cdot \text{K}$$

Agua de la red

$$T_{\text{red}} := (5 \ 6 \ 8 \ 10 \ 11 \ 12 \ 13 \ 12 \ 11 \ 10 \ 8 \ 5) \cdot \text{K} + 273.15 \cdot \text{K}$$

Datos fluidos:

Agua :

$$\rho_{\text{agua}} := 1000 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_2 := \rho_{\text{agua}}$$

$$C_{p\text{agua}} := 4179 \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$C_{p2} := C_{p\text{agua}}$$

$$C_{p\text{cons}} := C_{p\text{agua}}$$

Agua - Propilenglicol

$$\rho_{\text{mezcla}} := 1015 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_1 := \rho_{\text{mezcla}}$$

$$C_{p\text{mezcla}} := 3850 \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$C_{p1} := C_{p\text{mezcla}}$$

Caudales:

Circuito primario: $m_1 := 100 \cdot \frac{1}{\text{hr}}$ $m_{1\text{total}} := m_1 \cdot \rho_1 \cdot n_{\text{col}}$

Circuito secundario: $m_2 := m_1$ $m_{2\text{total}} := m_2 \cdot \rho_2 \cdot n_{\text{col}}$

Circuito ACS: $m_{\text{consdia}} := 462 \cdot l$

$h_{\text{sol}} := (4.71 \ 5.86 \ 6.97 \ 7.73 \ 8.61 \ 10.5 \ 11.48 \ 10.32 \ 8.17 \ 6.35 \ 5.13 \ 4.16) \cdot \text{hr}$

$k_{\text{cons}} := (1.1 \ 1.08 \ 1.03 \ 1.09 \ 1.04 \ 1.01 \ 0.9 \ 0.79 \ 0.92 \ 0.94 \ 1.02 \ 1.075)$

$$m_{\text{cons}} := \left(\frac{m_{\text{consdia}} \cdot \rho_2}{h_{\text{sol}}} \cdot k_{\text{cons}} \right)$$

 $m_{\text{cons}} =$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	$\frac{\text{kg}}{\text{s}}$
1	0.03	0.024	0.019	0.018	0.016	0.012	0.01	$9.824 \cdot 10^{-3}$	0.014	0.019	0.026	0.033	

Datos iniciales:

$T_{\text{sum}} := (60 \ 60 \ 60 \ 60 \ 60 \ 60 \ 60 \ 60 \ 60 \ 60 \ 60 \ 60) \cdot \text{K} + 273.15 \cdot \text{K}$

$C_{\min} := \min(m_{1\text{total}} \cdot C_{p1}, m_{2\text{total}} \cdot C_{p2})$ $C_{\min} = 651.292 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{kg}}{\text{K} \cdot \text{s}^3}$

$E_T := 0.25$

$Q_{\text{pup}} := (208.918 \ 277.343 \ 346.931 \ 413.97 \ 418.664 \ 500.297 \ 570.482 \ 555.544 \ 505.553 \ 347.571 \ 282.811 \ 217.589) \cdot \text{W}$

$Q_{\text{pdown}} := (18.542 \ 26.705 \ 38.797 \ 42.676 \ 45.642 \ 60.388 \ 77.244 \ 73.23 \ 63.814 \ 36.94 \ 26.079 \ 18.109) \cdot \text{W}$

$Q_{\text{pc}} := (Q_{\text{pupm}} + Q_{\text{pdownm}}) \cdot n_{\text{col}}$

Sistema de ecuaciones

Given

$$Q_{pc} = I_{Tmm} \cdot A_m - m_{1totalm} \cdot C_{p1m} \cdot (T_{com} - T_{cim})$$

$$m_{1totalm} \cdot C_{p1m} \cdot (T_{com} - T_{cim}) = m_{2totalm} \cdot C_{p2m} \cdot (T_{icom} - T_{icim})$$

$$\varepsilon_i = \frac{m_{2totalm} \cdot C_{p2m} \cdot (T_{icom} - T_{icim})}{C_{minm} \cdot (T_{com} - T_{icim})}$$

$$f = \frac{T_{consm} - T_{redm}}{T_{summ} - T_{redm}}$$

$$m_{2totalm} \cdot C_{p2m} \cdot (T_{icom} - T_{icim}) = \overrightarrow{[m_{consm} \cdot C_{pconsm} \cdot (T_{consm} - T_{redm})]}$$

$$T_{tm} = \frac{T_{icom} \cdot m_{2totalm} + \overrightarrow{(T_{redm} \cdot m_{consm})}}{m_{2totalm} + m_{consm}}$$

$$E_T = \frac{T_{consm} - T_{tm}}{T_{icom} - T_{tm}}$$

$$\begin{pmatrix} \text{var1m} \\ \text{var2m} \\ \text{var3m} \\ \text{var4m} \\ \text{var5m} \\ \text{var6m} \\ \text{var7m} \end{pmatrix} := \text{Find}(T_{cim}, T_{com}, T_{icim}, T_{icom}, T_{consm}, T_{tm}, f)$$

Programa de pérdidas en las tuberías para verano.

Resistencias térmicas tuberías

Convección interior tubos

$$D_{\text{int}} := 22 \cdot 10^{-3} \cdot \text{m} \quad m_{\text{int}} := m_{\text{I total}} \quad \text{Pr} := 20 \quad \mu_{\text{int}} := 0.002 \cdot \text{Pa} \cdot \text{s} \quad k_{\text{int}} := 0.44 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$L_{\text{tubo}} := 16 \cdot \text{m}$$

$$\text{Re}_D := \frac{4 \cdot m_{\text{int}}}{\pi \cdot D_{\text{int}} \cdot \mu_{\text{int}}} \quad \text{Nu}_D := 0.023 \cdot \text{Re}_D^{\frac{4}{5}} \cdot \text{Pr}^{0.4} \quad h_D := \frac{\text{Nu}_D \cdot k_{\text{int}}}{D_{\text{int}}}$$

$$R_{\text{convmezcla}} := \frac{1}{h_D \cdot \pi \cdot D_{\text{int}} \cdot L_{\text{tubo}}} \quad R_{\text{convmezcla}} = 3.184 \times 10^{-4} \frac{\text{K} \cdot \text{s}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{kg}}$$

Conducción tubería de cobre

$$r_1 := 11 \cdot 10^{-3} \cdot \text{m} \quad r_2 := 12 \cdot 10^{-3} \cdot \text{m} \quad k_{\text{tubo}} := 389.6 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$R_{\text{tubo}} := \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k_{\text{tubo}} \cdot L_{\text{tubo}}} \quad R_{\text{tubo}} = 2.222 \times 10^{-6} \frac{\text{K} \cdot \text{s}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{kg}}$$

Conducción en el aislante

$$r_{1\text{ais}} := 12 \cdot 10^{-3} \cdot \text{m} \quad r_{2\text{ais}} := 52 \cdot 10^{-3} \cdot \text{m} \quad k_{\text{ais}} := 0.04 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$R_{\text{aislante}} := \frac{\ln\left(\frac{r_{2\text{ais}}}{r_{1\text{ais}}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k_{\text{ais}} \cdot L_{\text{tubo}}} \quad R_{\text{aislante}} = 0.365 \frac{\text{K} \cdot \text{s}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{kg}}$$

Convección forzada en el exterior

$$v_{\text{viento}} := (12.32 \ 12.14 \ 11.99 \ 11.06) \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$\rho_{\text{aire}} := 1.1614 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\mu_{\text{aire}} := 184.6 \cdot 10^{-7} \cdot \text{Pa} \cdot \text{s}$$

$$k_{\text{aire}} := 26.3 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$\text{Pr}_{\text{ext}} := 0.707$$

$$D_{\text{ext}} := 104 \cdot 10^{-3} \cdot \text{m}$$

$$A_{\text{aislante}} := \pi \cdot D_{\text{ext}} \cdot L_{\text{tubo}}$$

$$\text{Re}_{\text{ext}} := \frac{\rho_{\text{aire}} \cdot v_{\text{viento}} \cdot D_{\text{ext}}}{\mu_{\text{aire}}}$$

$$\rho_{\text{aire}} = 1.161 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\mu_{\text{aire}} = 1.846 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

$$\text{Nu}_{\text{ext}} := 0.193 \cdot \left[\left(\text{Re}_{\text{ext}} \right)^{0.618} \right] \cdot \text{Pr}_{\text{ext}}^{\frac{1}{3}}$$

$$h_{\text{ext}} := \frac{\text{Nu}_{\text{ext}} \cdot k_{\text{aire}}}{D_{\text{ext}}}$$

$$R_{\text{ext}} := \frac{1}{h_{\text{ext}} \cdot A_{\text{aislante}}}$$

$$R_{\text{ext}} = \left(9.017 \times 10^{-3} \ 9.099 \times 10^{-3} \ 9.169 \times 10^{-3} \ 9.639 \times 10^{-3} \right) \frac{\text{K} \cdot \text{s}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{kg}}$$

Resistencia total

$$R_t := R_{\text{convmezcla}} + R_{\text{tubo}} + R_{\text{aislante}} + R_{\text{ext}}$$

Coefficiente global de transferencia de calor

$$U_{\text{ext}} := \left(R_t - 1 \right)^{-1}$$

$$U_{\text{ext}} = (2.674 \ 2.673 \ 2.673 \ 2.669) \frac{\text{m}^2 \cdot \text{kg}}{\text{K} \cdot \text{s}^3}$$

Programa de pérdidas en las tuberías para invierno.

El programa es similar al anterior, solo cambia a partir de convección forzada en el exterior.

Convección forzada en el exterior

$$v_{\text{viento}} := (12.5 \ 13.129 \ 14.07 \ 12.85 \ 12.52 \ 11.06 \ 10.33 \ 11.11) \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$\rho_{\text{aire}} := 1.1614 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \mu_{\text{aire}} := 184.6 \cdot 10^{-7} \cdot \text{Pa} \cdot \text{s} \quad k_{\text{aire}} := 26.3 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \quad \text{Pr}_{\text{ext}} := 0.707$$

$$D_{\text{ext}} := 104 \cdot 10^{-3} \cdot \text{m} \quad A_{\text{aislante}} := \pi \cdot D_{\text{ext}} \cdot L_{\text{tubo}}$$

$$\text{Re}_{\text{ext}} := \frac{\rho_{\text{aire}} \cdot v_{\text{viento}} \cdot D_{\text{ext}}}{\mu_{\text{aire}}} \quad \rho_{\text{aire}} = 1.161 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \mu_{\text{aire}} = 1.846 \times 10^{-5} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

$$\text{Nu}_{\text{ext}} := 0.193 \cdot \left[\overline{(\text{Re}_{\text{ext}})^{0.618}} \right] \cdot \text{Pr}_{\text{ext}}^{\frac{1}{3}} \quad h_{\text{ext}} := \frac{\text{Nu}_{\text{ext}} \cdot k_{\text{aire}}}{D_{\text{ext}}}$$

$$R_{\text{ext}} := \frac{1}{h_{\text{ext}} \cdot A_{\text{aislante}}}$$

$$R_{\text{ext}} = (8.936 \times 10^{-3} \ 8.669 \times 10^{-3} \ 8.306 \times 10^{-3} \ 8.785 \times 10^{-3} \ 8.928 \times 10^{-3} \ 9.639 \times 10^{-3} \ 0.01 \ 9.612 \times 10^{-3}) \cdot \frac{\text{K} \cdot \text{s}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{kg}}$$

Resistencia total

$$R_t := R_{\text{convmezcla}} + R_{\text{tubo}} + R_{\text{aislante}} + R_{\text{ext}}$$

Coefficiente global de transferencia de calor

$$U_{\text{ext}} := \left(R_t - 1 \right)$$

$$U_{\text{ext}} = (2.675 \ 2.677 \ 2.68 \ 2.676 \ 2.675 \ 2.67 \ 2.667 \ 2.67) \cdot \frac{\text{m}^2 \cdot \text{kg}}{\text{K} \cdot \text{s}^3}$$

Programas en Maple.

Programas de las instalaciones con dos aplicaciones.

Enero

```

Qp := 3875; It := 7429.6; m1 := 0.4229; Cp1 := 3850; Cp2 := 4179; m2 := 0.4166; macs := 0.65; mcal := 0; mcons := 0.03;

tred := 278.15; Et2 := 0.25; terad := 321.15; tsrad := 311.15; Uext := 2.674; Aais := 5.228; t0m := 279.15;
e1 := Qp = It - m1·Cp1·(tcom - tcim);
e2 := m1·Cp1·(ticem - ticsm) = m2·Cp2·(ticom - ticim);
e3 := 0.7 =  $\frac{m2·Cp2·(ticom - ticim)}{m1·Cp1·(ticem - ticim)}$ ;
e4 := m2·Cp2·(ticom - ticim) = (macs + mcal)·Cp2·(tstm - tetm);
e5 :=  $\frac{ticom·m2 + tetm·(macs + mcal)}{m2 + (macs + mcal)}$ ;
e6 := 0.5 =  $\frac{(tstm - tt1m)}{(ticom - tt1m)}$ ;
e7 := tstm - tacsrm = tacsem - tacssm;
e9 := macs·(tacsem - tacssm) = mcons·(tconsrm - tred);
e11 := 0.7 =  $\frac{(tstm - tacsrm)}{tstm - tacssm}$ ;
e12 := fcal =  $\frac{(tstm - tsrad)}{(terad - tsrad)}$ ;
e13 := tetm·(macs + mcal) = tsrad·mcal + tacsrm·macs;
e8 := facs =  $\frac{tconsrm - tred}{333.15 - tred}$ ;
e10 :=  $Tt2 = \frac{tacsem·macs + tred·mcons}{macs + mcons}$ ;
e14 :=  $Et2 = \frac{tconsrm - Tt2}{tacsem - Tt2}$ ;
e15 := m1·Cp1·(tcom - ticem) =  $\frac{Uext·Aais·((tcom - t0m) - (ticem - t0m))}{\log\left(\frac{tcom - t0m}{ticem - t0m}\right)}$ ;
e16 := m1·Cp1·(ticsm - tcim) =  $\frac{Uext·Aais·((ticsm - t0m) - (tcim - t0m))}{\log\left(\frac{ticsm - t0m}{tcim - t0m}\right)}$ ;

solve({e1, e2, e3, e4, e5, e6, e7, e9, e11, e12, e13, e8, e10, e14, e15, e16}, [tcom, tcim, ticom, ticim, tstm, tetm, tt1m, tacsrm, tacsem, tacssm, fcal, tconsrm, facs, Tt2, ticem, ticsm]);

```

$tcom = 304.0040665$, $tcim = 301.8208726$, $ticom$
 $= 302.9157486$, $ticim = 301.2555606$, $tstm$
 $= 302.4494363$, $tetm = 301.3853835$, $tt1m$
 $= 301.9831241$, $tacsrm = 301.3853835$,
 $tacsem = 301.9934137$, $tacssm$
 $= 300.9293609$, $fcal = -0.8700563684$,
 $tconsrm = 301.2044772$, $facs$
 $= 0.4191723120$, $Tt2 = 300.9414983$, $ticem$
 $= 303.7915793$, $ticsm = 302.0163662$

Febrero.

```

Qp := 5300; It := 9580.4; m1 := 0.4229; Cp1 := 3850; Cp2 := 4179; m2 := 0.4166; macs := 0.65; mcal := 0.; mcons := 0.024;

tred := 279.15; Et2 := 0.25; terad := 321.15; tsrad := 311.15; Uext := 2.676; Aais := 5.228; t0m := 281.15;
e1 := Qp = It - m1 · Cp1 · (tcom - tcim);
e2 := m1 · Cp1 · (ticem - ticsm) = m2 · Cp2 · (ticom - ticim);
e3 := 0.7 =  $\frac{m2 \cdot Cp2 \cdot (ticom - ticim)}{m1 \cdot Cp1 \cdot (ticem - ticim)}$ ;
e4 := m2 · Cp2 · (ticom - ticim) = (macs + mcal) · Cp2 · (tstm - tetm);
e5 :=  $t1m = \frac{ticom \cdot m2 + tetm \cdot (macs + mcal)}{m2 + (macs + mcal)}$ ;
e6 :=  $0.5 = \frac{(tstm - t1m)}{(ticom - t1m)}$ ;
e7 := tstm - tacsrm = tacsem - tacssm;
e9 := macs · (tacsem - tacssm) = mcons · (tconsrm - tred);
e11 :=  $0.7 = \frac{(tstm - tacsrm)}{tstm - tacssm}$ ;
e12 :=  $fcal = \frac{(tstm - tsrad)}{(terad - tsrad)}$ ;
e13 := tetm · (macs + mcal) = tsrad · mcal + tacsrm · macs;
e8 :=  $facs = \frac{tconsrm - tred}{333.15 - tred}$ ;
e10 :=  $Tt2 = \frac{tacsem \cdot macs + tred \cdot mcons}{macs + mcons}$ ;
e14 :=  $Et2 = \frac{tconsrm - Tt2}{tacsem - Tt2}$ ;
e15 :=  $m1 \cdot Cp1 \cdot (tcom - ticem) = \frac{Uext \cdot Aais \cdot ((tcom - t0m) - (ticem - t0m))}{\log\left(\frac{tcom - t0m}{ticem - t0m}\right)}$ ;
e16 :=  $m1 \cdot Cp1 \cdot (ticsm - tcim) = \frac{Uext \cdot Aais \cdot ((ticsm - t0m) - (tcim - t0m))}{\log\left(\frac{ticsm - t0m}{tcim - t0m}\right)}$ ;

solve({e1, e2, e3, e4, e5, e6, e7, e9, e11, e12, e13, e8, e10, e14, e15, e16}, [tcom, tcim, ticom, ticim, tstm, tetm, t1m, tacsrm, tacsem, tacssm, fcal, tconsrm, facs, Tt2, ticem, ticsm]);

```

$tcom = 315.8188536$, $tcim = 313.1898817$, $ticom$
 $= 314.5079416$, $ticim = 312.5852892$, $tstm$
 $= 313.9679086$, $tetm = 312.7356363$, $t1m$
 $= 313.4278755$, $tacsrm = 312.7356363$,
 $tacsem = 313.4397919$, $tacssm$
 $= 312.2075196$, $fcal = 0.2817908554$,
 $tconsrm = 312.5240407$, $facs$
 $= 0.6180377907$, $Tt2 = 312.2187903$, $ticem$
 $= 315.5222351$, $ticsm = 313.4663730$

Marzo.

```

Cp := 5535; It := 12300; m1 := 0.4229; Cp1 := 3850; Cp2 := 4179; m2 := 0.4166; macs := 0.65; mcal := 0.291; mcons := 0.019;

tred := 281.15; Et2 := 0.25; terad := 321.15; tsrad := 311.15; Uext := 2.679; Aais := 5.228; t0m := 284.15;
e1 := Cp = It - m1 · Cp1 · (tcom - tcim);
e2 := m1 · Cp1 · (ticem - ticsm) = m2 · Cp2 · (ticom - ticim);
e3 := 0.7 =  $\frac{m2 \cdot Cp2 \cdot (ticom - ticim)}{m1 \cdot Cp1 \cdot (ticem - ticim)}$ ;
e4 := m2 · Cp2 · (ticom - ticim) = (macs + mcal) · Cp2 · (tstm - tetm);
e5 :=  $ttlm = \frac{ticom \cdot m2 + tetm \cdot (macs + mcal)}{m2 + (macs + mcal)}$ ;
e6 :=  $0.5 = \frac{(tstm - ttlm)}{(ticom - ttlm)}$ ;
e7 := tstm - tacsrm = tacsem - tacssm;
e9 := macs · (tacsem - tacssm) = mcons · (tcons - tred);
e11 :=  $0.7 = \frac{(tstm - tacsrm)}{tstm - tacssm}$ ;
e12 := fcal =  $\frac{(tstm - tsrad)}{(terad - tsrad)}$ ;
e13 := tetm · (macs + mcal) = tsrad · mcal + tacsrm · macs;
e8 := facs =  $\frac{tcons - tred}{333.15 - tred}$ ;
e10 :=  $Tt2 = \frac{tacsem \cdot macs + tred \cdot mcons}{macs + mcons}$ ;
e14 := Et2 =  $\frac{tcons - Tt2}{tacsem - Tt2}$ ;
e15 := m1 · Cp1 · (tcom - ticem) =  $\frac{Uext \cdot Aais \cdot ((tcom - t0m) - (ticem - t0m))}{\log\left(\frac{tcom - t0m}{ticem - t0m}\right)}$ ;
e16 := m1 · Cp1 · (ticsm - tcim) =  $\frac{Uext \cdot Aais \cdot ((ticsm - t0m) - (tcim - t0m))}{\log\left(\frac{ticsm - t0m}{tcim - t0m}\right)}$ ;

solve({e1, e2, e3, e4, e5, e6, e7, e9, e11, e12, e13, e8, e10, e14, e15, e16}, [tcom, tcim, ticom, ticim, tstm, tetm, ttlm, tacsrm, tacsem, tacssm, fcal, tcons, facs, Tt2, ticem, ticsm]);

```

$tcom = 316.8059672$, $tcim = 312.6509829$, $ticom$
 $= 314.7358084$, $ticim = 311.3419061$, $tstm$
 $= 313.9388860$, $tetm = 312.4363358$, $ttlm$
 $= 313.1419636$, $tacsrm = 313.0122185$,
 $tacsem = 313.5417428$, $tacssm$
 $= 312.6150753$, $fcal = 0.2788886030$,
 $tcons = 312.8517842$, $facs$
 $= 0.6096496957$, $Tt2 = 312.6217980$, $ticem$
 $= 316.5262586$, $ticsm = 312.8972118$

Abril.

```

Qp := 5875; It := 13407.7; m1 := 0.4229; Cp1 := 3850; Cp2 := 4179; m2 := 0.4166; macs := 0.65; mcal := 0.26; mcons := 0.018;

tred := 283.15; Et2 := 0.25; terad := 321.15; tsrad := 311.15; Uext := 2.675; Aais := 5.228; t0m := 286.15;
e1 := Qp = It - m1·Cp1·(tcom - tcim);
e2 := m1·Cp1·(ticem - ticsm) = m2·Cp2·(ticom - ticim);
e3 := 0.7 =  $\frac{m2·Cp2·(ticom - ticim)}{m1·Cp1·(ticem - ticim)}$ ;
e4 := m2·Cp2·(ticom - ticim) = (macs + mcal)·Cp2·(tstm - tetm);
e5 :=  $ttlm = \frac{ticom·m2 + tetm·(macs + mcal)}{m2 + (macs + mcal)}$ ;
e6 :=  $0.5 = \frac{(tstm - ttlm)}{(ticom - ttlm)}$ ;
e7 := tstm - tacsrm = tacsem - tacssm;
e9 := macs·(tacsem - tacssm) = mcons·(tconsrm - tred);
e11 :=  $0.7 = \frac{(tstm - tacsrm)}{tstm - tacssm}$ ;
e12 :=  $fcal = \frac{(tstm - tsrad)}{(terad - tsrad)}$ ;
e13 := tetm·(macs + mcal) = tsrad·mcal + tacsrm·macs;
e8 :=  $facs = \frac{tconsrm - tred}{333.15 - tred}$ ;
e10 :=  $Tt2 = \frac{tacsem·macs + tred·mcons}{macs + mcons}$ ;
e14 :=  $Et2 = \frac{tconsrm - Tt2}{tacsem - Tt2}$ ;
e15 :=  $m1·Cp1·(tcom - ticem) = \frac{Uext·Aais·((tcom - t0m) - (ticem - t0m))}{\log\left(\frac{tcom - t0m}{ticem - t0m}\right)}$ ;
e16 :=  $m1·Cp1·(ticsm - tcim) = \frac{Uext·Aais·((ticsm - t0m) - (tcim - t0m))}{\log\left(\frac{ticsm - t0m}{tcim - t0m}\right)}$ ;

solve({e1, e2, e3, e4, e5, e6, e7, e9, e11, e12, e13, e8, e10, e14, e15, e16}, [tcom, tcim, ticom, ticim, tstm, tetm, ttlm, tacsrm, tacsem, tacssm, fcal, tconsrm, facs, Tt2, ticem, ticsm]);

```

$tcom = 318.3897817$, $tcim = 313.7632850$, $ticom$
 $= 316.0850483$, $ticim = 312.2389607$, $tstm$
 $= 315.1658881$, $tetm = 313.4051408$, $ttlm$
 $= 314.2467279$, $tacsrm = 314.3071971$,
 $tacsem = 314.7978776$, $tacssm$
 $= 313.9391866$, $fcal = 0.4015888086$,
 $tconsrm = 314.1582873$, $facs$
 $= 0.6201657460$, $Tt2 = 313.9450905$, $ticem$
 $= 318.1140484$, $ticsm = 314.0014870$

Mayo.

```

Cp := 5690; It := 13534.6; m1 := 0.4229; Cp1 := 3850; Cp2 := 4179; m2 := 0.4166; macs := 0.65; mcal := 0.205; mcons := 0.016;

tred := 284.15; Et2 := 0.25; terad := 321.15; tsrad := 311.15; Uext := 2.674; Aais := 5.228; t0m := 290.15;
e1 := Cp = It - m1 · Cp1 · (tcom - tcim);
e2 := m1 · Cp1 · (ticem - ticsm) = m2 · Cp2 · (tcom - ticim);
e3 := 0.7 =  $\frac{m2 \cdot Cp2 \cdot (tcom - ticim)}{m1 \cdot Cp1 \cdot (ticem - ticim)}$ ;
e4 := m2 · Cp2 · (tcom - ticim) = (macs + mcal) · Cp2 · (tstm - tetm);
e5 :=  $ttlm = \frac{ticom \cdot m2 + tetm \cdot (macs + mcal)}{m2 + (macs + mcal)}$ ;
e6 :=  $0.5 = \frac{(tstm - ttlm)}{(ticom - ttlm)}$ ;
e7 := tstm - tacsrm = tacsem - tacssm;
e9 := macs · (tacsem - tacssm) = mcons · (tcons - tred);
e11 :=  $0.7 = \frac{(tstm - tacsrm)}{tstm - tacssm}$ ;
e12 :=  $fcal = \frac{(tstm - tsrad)}{(terad - tsrad)}$ ;
e13 := tetm · (macs + mcal) = tsrad · mcal + tacsrm · macs;
e8 :=  $facs = \frac{tcons - tred}{333.15 - tred}$ ;
e10 :=  $Tt2 = \frac{tacsem \cdot macs + tred \cdot mcons}{macs + mcons}$ ;
e14 :=  $Et2 = \frac{tcons - Tt2}{tacsem - Tt2}$ ;
e15 :=  $m1 \cdot Cp1 \cdot (tcom - ticem) = \frac{Uext \cdot Aais \cdot ((tcom - t0m) - (ticem - t0m))}{\log\left(\frac{tcom - t0m}{ticem - t0m}\right)}$ ;
e16 :=  $m1 \cdot Cp1 \cdot (ticsm - tcim) = \frac{Uext \cdot Aais \cdot ((ticsm - t0m) - (tcim - t0m))}{\log\left(\frac{ticsm - t0m}{tcim - t0m}\right)}$ ;

solve({e1, e2, e3, e4, e5, e6, e7, e9, e11, e12, e13, e8, e10, e14, e15, e16}, [tcom, tcim, ticom, ticim, tstm, tetm, ttlm, tacsrm, tacsem, tacssm, fcal, tcons, facs, Tt2, ticem, ticsm]);

```

$tcom = 320.3175574$, $tcim = 315.4994954$, $ticom$
 $= 317.9176647$, $ticim = 313.8574202$, $tstm$
 $= 316.9157112$, $tetm = 314.9373512$, $ttlm$
 $= 315.9137578$, $tacsrm = 316.1318235$,
 $tacsem = 316.5797593$, $tacssm$
 $= 315.7958716$, $fcal = 0.5765711222$,
 $tcons = 315.9954394$, $facs$
 $= 0.6499069273$, $Tt2 = 315.8006661$, $ticem$
 $= 320.0596430$, $ticsm = 315.7180871$

Junio.

```

Qp := 8940; It := 15480; m1 := 0.4229; Cp1 := 3850; m2 := 0.4166; Cp2 := 4179; mabs := 0.333; mcons := 0.01234;

tred := 285.15; tgene := 358.15; tgens := 349.86; tcons := 333.15; macs := 0.045; Uext := 2.673; Aais := 5.228; t0m := 295.15;

e1 := Qp = It - m1·Cp1·(tcom - tcim);
e2 := m1·Cp1·(ticem - ticsm) = m2·Cp2·(ticom - ticim);
e3 := 0.7 =  $\frac{m2·Cp2·(ticom - ticim)}{m1·Cp1·(ticem - ticim)}$ ;
e4 := m2·Cp2·(ticom - ticim) = (macs + mabs)·Cp2·(tstm - tetm);
e5 :=  $ttlm = \frac{ticom·m2 + tetm·(macs + mabs)}{m2 + (macs + mabs)}$ ;
e6 := 0.5 =  $\frac{(tstm - ttlm)}{(ticom - ttlm)}$ ;
e7 := tstm - tacsrm = tacsem - tacssm;
e9 := macs·(tacsem - tacssm) = mcons·(tcons - tred);
e11 := 0.7 =  $\frac{(tstm - tacsrm)}{tstm - tacssm}$ ;
e12 := fabs =  $\frac{(tstm - tgens)}{(tgene - tgens)}$ ;
e13 := tetm·(macs + mabs) = tgens·mabs + tacsrm·macs;
e14 := m1·Cp1·(tcom - tcim) =  $\frac{Uext·Aais·((tcom - t0m) - (ticem - t0m))}{\log\left(\frac{tcom - t0m}{ticem - t0m}\right)}$ ;
e15 := m1·Cp1·(ticsm - tcim) =  $\frac{Uext·Aais·((ticsm - t0m) - (tcim - t0m))}{\log\left(\frac{ticsm - t0m}{tcim - t0m}\right)}$ ;

solve({e1, e2, e3, e4, e5, e6, e7, e9, e11, e12, e13, e14, e15}, [tcom, tcim, ticom, ticim, tstm, tetm, ttlm, tacsrm, tacsem, tacssm, fabs, ticem, ticsm]);

```

$tcom = 354.6055883$, $tcim = 350.5887964$, $ticom$
 $= 352.6021749$, $ticim = 349.7677596$, $tstm$
 $= 351.6272595$, $tetm = 348.5034039$, $ttlm$
 $= 350.6523442$, $tacsrm = 338.4645929$,
 $tacsem = 345.9861167$, $tacssm$
 $= 332.8234500$, $fabs = 0.2131796832$, $ticem$
 $= 354.0974682$, $ticsm = 351.0666722$

Julio.

```
Qp := 9150; It := 16990; m1 := 0.4229; Cp1 := 3850; m2 := 0.4166; Cp2 := 4179; macs := 0.0333; mabs := 0.333; mcons := 0.01;

tred := 286.15; tgene := 358.15; tgens := 349.86; tcons := 333.15; Uext := 2.672; Aais := 5.228; t0m := 299.15;
e1 := Qp = It - m1·Cp1·(tcom - tcim);
e2 := m1·Cp1·(ticem - ticsm) = m2·Cp2·(ticom - ticim);
e3 := 0.7 =  $\frac{m2·Cp2·(ticom - ticim)}{m1·Cp1·(ticem - ticim)}$ ;
e4 := m2·Cp2·(ticom - ticim) = (macs + mabs)·Cp2·(tstm - tetm);
e5 :=  $ttlm = \frac{ticom·m2 + tetm·(macs + mabs)}{m2 + (macs + mabs)}$ ;
e6 := 0.5 =  $\frac{(tstm - ttlm)}{(ticom - ttlm)}$ ;
e7 := tstm - tacsrm = tacsem - tacssm;
e9 := macs·(tacsem - tacssm) = mcons·(tcons - tred);
e11 := 0.7 =  $\frac{(tstm - tacsrm)}{tstm - tacssm}$ ;
e12 := fabs =  $\frac{(tstm - tgens)}{(tgene - tgens)}$ ;
e13 := tetm·(macs + mabs) = tgens·mabs + tacsrm·macs;
e14 := m1·Cp1·(tcom - ticem) =  $\frac{Uext·Aais·((tcom - t0m) - (ticem - t0m))}{\log\left(\frac{tcom - t0m}{ticem - t0m}\right)}$ ;
e15 := m1·Cp1·(ticsm - tcim) =  $\frac{Uext·Aais·((ticsm - t0m) - (tcim - t0m))}{\log\left(\frac{ticsm - t0m}{tcim - t0m}\right)}$ ;
solve({e1, e2, e3, e4, e5, e6, e7, e9, e11, e12, e13, e14, e15}, [tcom, tcim, ticom, ticim, tstm, tetm, ttlm, tacsrm, tacsem, tacssm, fabs, ticem, ticsm]);
```

$tcom = 356.6344931$, $tcim = 351.8192563$, $ticom$
 $= 354.2339186$, $ticim = 350.6143829$, $tstm$
 $= 352.9768125$, $tetm = 348.8602453$, $ttlm$
 $= 351.7197065$, $tacsrm = 338.8626984$,
 $tacsem = 346.9279065$, $tacssm$
 $= 332.8137924$, $fabs = 0.3759725667$, $ticem$
 $= 356.1434014$, $ticsm = 352.2730884$

Agosto.

```

Qp := 9105; It := 16380; m1 := 0.4229; Cp1 := 3850; m2 := 0.4166; Cp2 := 4179; macs := 0.034; mabs := 0.333; mcons := 0.0098;

tred := 285.15; tgene := 358.15; tgens := 349.86; tcons := 333.15; Uext := 2.672; Aais := 5.228; t0m := 299.15;

e1 := Qp = It - m1 * Cp1 * (tcom - tcim);
e2 := m1 * Cp1 * (ticem - ticsm) = m2 * Cp2 * (ticom - ticim);
e3 := 0.7 = (m2 * Cp2 * (ticom - ticim)) / (m1 * Cp1 * (ticem - ticim));
e4 := m2 * Cp2 * (ticom - ticim) = (macs + mabs) * Cp2 * (tstm - tetm);
e5 := tt1m = (ticom * m2 + tetm * (macs + mabs)) / (m2 + (macs + mabs));
e6 := 0.5 = (tstm - tt1m) / (ticom - tt1m);
e7 := tstm - tacsrm = tacsem - tacssm;
e9 := macs * (tacsem - tacssm) = mcons * (tcons - tred);
e11 := 0.7 = (tstm - tacsrm) / (tstm - tacssm);
e12 := fabs = (tstm - tgens) / (tgene - tgens);
e13 := tetm * (macs + mabs) = tgens * mabs + tacsrm * macs;
e14 := m1 * Cp1 * (tcom - ticem) = (Uext * Aais * ((tcom - t0m) - (ticem - t0m))) / log((tcom - t0m) / (ticem - t0m));
e15 := m1 * Cp1 * (ticsm - tcim) = (Uext * Aais * ((ticsm - t0m) - (tcim - t0m))) / log((ticsm - t0m) / (tcim - t0m));

solve({e1, e2, e3, e4, e5, e6, e7, e9, e11, e12, e13, e14, e15}, [tcom, tcim, ticom, ticim, tstm, tetm, tt1m, tacsrm, tacsem, tacssm, fabs, ticem, ticsm]);

```

$tcom = 355.9541512$, $tcim = 351.4859308$, $ticom$
 $= 353.7263105$, $ticim = 350.4231847$, $tstm$
 $= 352.5797665$, $tetm = 348.8302236$, $tt1m$
 $= 351.4332224$, $tacsrm = 338.7444724$,
 $tacsem = 346.6503547$, $tacssm$
 $= 332.8150606$, $fabs = 0.3280779872$, $ticem$
 $= 355.4688717$, $ticsm = 351.9368908$

Septiembre.

```

Qp := 9000; It := 15990; m1 := 0.4229; Cp1 := 3850; m2 := 0.4166; Cp2 := 4179; macs := 0.0535; mabs := 0.333; mcons := 0.01445;

tred := 284.15; tgene := 358.15; tgens := 349.86; tcons := 333.15; Uext := 2.668; Aais := 5.228; t0m := 295.15;

e1 := Qp = It - m1 * Cp1 * (tcom - tcim);
e2 := m1 * Cp1 * (ticem - ticsm) = m2 * Cp2 * (ticom - ticim);
e3 := 0.7 = (m2 * Cp2 * (ticom - ticim)) / (m1 * Cp1 * (ticem - ticim));
e4 := m2 * Cp2 * (ticom - ticim) = (macs + mabs) * Cp2 * (tstm - tetm);
e5 := tstm = (ticom * m2 + tetm * (macs + mabs)) / (m2 + (macs + mabs));
e6 := 0.5 = (tstm - tstm) / (ticom - tstm);
e7 := tstm - tacsrm = tacsem - tacssm;
e9 := macs * (tacsem - tacssm) = mcons * (tcons - tred);
e11 := 0.7 = (tstm - tacsrm) / (tstm - tacssm);
e12 := fabs = (tstm - tgene) / (tgene - tgens);
e13 := tetm * (macs + mabs) = tgens * mabs + tacsrm * macs;
e14 := m1 * Cp1 * (tcom - ticem) = (Uext * Aais * ((tcom - t0m) - (ticem - t0m))) / log((tcom - t0m) / (ticem - t0m));
e15 := m1 * Cp1 * (ticsm - tcim) = (Uext * Aais * ((ticsm - t0m) - (tcim - t0m))) / log((ticsm - t0m) / (tcim - t0m));

solve({e1, e2, e3, e4, e5, e6, e7, e9, e11, e12, e13, e14, e15}, [tcom, tcim, ticom, ticim, tstm, tetm, tstm, tacsrm, tacsem, tacssm, fabs, ticem, ticsm]);

```

$tcom = 354.8017031$, $tcim = 350.5085265$, $ticom$
 $= 352.6607791$, $ticim = 349.5670813$, $tstm$
 $= 351.6040975$, $tetm = 348.2694676$, $tstm$
 $= 350.5474159$, $tacsrm = 338.3695181$,
 $tacsem = 345.9321349$, $tacssm$
 $= 332.6975554$, $fabs = 0.2103857088$, $ticem$
 $= 354.2928565$, $ticsm = 350.9848139$

Octubre.

```

Cp := 5195; It := 12161.54; m1 := 0.4229; Cp1 := 3850; Cp2 := 4179; m2 := 0.4166; macs := 0.65; mcal := 0.198; mcons := 0.019;

tred := 283.15; Et2 := 0.25; terad := 321.15; tsrad := 311.15; Uext := 2.669; Aais := 5.228; tOm := 289.15;
e1 := Cp = It - m1 · Cp1 · (tcom - tcim);
e2 := m1 · Cp1 · (ticem - ticsm) = m2 · Cp2 · (ticom - ticim);
e3 := 0.7 =  $\frac{m2 \cdot Cp2 \cdot (ticom - ticim)}{m1 \cdot Cp1 \cdot (ticem - ticim)}$ ;
e4 := m2 · Cp2 · (ticom - ticim) = (macs + mcal) · Cp2 · (tstm - tetm);
e5 :=  $ttlm = \frac{ticom \cdot m2 + tetm \cdot (macs + mcal)}{m2 + (macs + mcal)}$ ;
e6 :=  $0.5 = \frac{(tstm - ttlm)}{(ticom - ttlm)}$ ;
e7 := tstm - tacsrm = tacsem - tacssm;
e9 := macs · (tacsem - tacssm) = mcons · (tconsrm - tred);
e11 :=  $0.7 = \frac{(tstm - tacsrm)}{tstm - tacssm}$ ;
e12 :=  $fcal = \frac{(tstm - tsrad)}{(terad - tsrad)}$ ;
e13 := tetm · (macs + mcal) = tsrad · mcal + tacsrm · macs;
e8 :=  $facs = \frac{tconsrm - tred}{333.15 - tred}$ ;
e10 :=  $Tt2 = \frac{tacsem \cdot macs + tred \cdot mcons}{macs + mcons}$ ;
e14 :=  $Et2 = \frac{tconsrm - Tt2}{tacsem - Tt2}$ ;
e15 :=  $m1 \cdot Cp1 \cdot (tcom - ticem) = \frac{Uext \cdot Aais \cdot ((tcom - tOm) - (ticem - tOm))}{\log\left(\frac{tcom - tOm}{ticem - tOm}\right)}$ ;
e16 :=  $m1 \cdot Cp1 \cdot (ticsm - tcim) = \frac{Uext \cdot Aais \cdot ((ticsm - tOm) - (tcim - tOm))}{\log\left(\frac{ticsm - tOm}{tcim - tOm}\right)}$ ;

solve({e1, e2, e3, e4, e5, e6, e7, e9, e11, e12, e13, e8, e10, e14, e15, e16}, [tcom, tcim, ticom, ticim, tstm, tetm, ttlm, tacsrm, tacsem, tacssm, fcal, tconsrm, facs, Tt2, ticem, ticsm]);

```

$tcom = 318.6476073$, $tcim = 314.3688394$, $ticom$
 $= 316.5161666$, $ticim = 312.9530416$, $tstm$
 $= 315.6332271$, $tetm = 313.8827579$, $ttlm$
 $= 314.7502876$, $tacsrm = 314.7151980$,
 $tacsem = 315.2397861$, $tacssm$
 $= 314.3217569$, $fcal = 0.4483227113$,
 $tconsrm = 314.5562593$, $facs$
 $= 0.6281251851$, $Tt2 = 314.3284170$, $ticem$
 $= 318.3958901$, $ticsm = 314.5858961$

Noviembre.

```

Cp := 5195; It := 12161.54; m1 := 0.4229; Cp1 := 3850; Cp2 := 4179; m2 := 0.4166; macs := 0.65; mcal := 0.198; moons := 0.019;

tred := 283.15; Et2 := 0.25; terad := 321.15; tsrad := 311.15; Uext := 2.669; Aais := 5.228; tOm := 289.15;
e1 := Cp = It - m1 · Cp1 · (tcom - tcim);
e2 := m1 · Cp1 · (ticem - ticsm) = m2 · Cp2 · (ticom - ticim);
e3 := 0.7 =  $\frac{m2 \cdot Cp2 \cdot (ticom - ticim)}{m1 \cdot Cp1 \cdot (ticem - ticim)}$ ;
e4 := m2 · Cp2 · (ticom - ticim) = (macs + mcal) · Cp2 · (tstm - tetm);
e5 :=  $ttlm = \frac{ticom \cdot m2 + tetm \cdot (macs + mcal)}{m2 + (macs + mcal)}$ ;
e6 := 0.5 =  $\frac{(tstm - ttlm)}{(ticom - ttlm)}$ ;
e7 := tstm - tacsrm = tacsem - tacssm;
e9 := macs · (tacsem - tacssm) = mcons · (tcons - tred);
e11 := 0.7 =  $\frac{(tstm - tacsrm)}{tstm - tacsrm}$ ;
e12 := fcal =  $\frac{(tstm - tsrad)}{(terad - tsrad)}$ ;
e13 := tetm · (macs + mcal) = tsrad · mcal + tacsrm · macs;
e8 := facs =  $\frac{tcons - tred}{333.15 - tred}$ ;
e10 := Tt2 =  $\frac{tacsem \cdot macs + tred \cdot mcons}{macs + mcons}$ ;
e14 := Et2 =  $\frac{tcons - Tt2}{tacsem - Tt2}$ ;
e15 := m1 · Cp1 · (tcom - ticem) =  $\frac{Uext \cdot Aais \cdot ((tcom - tOm) - (ticem - tOm))}{\log\left(\frac{tcom - tOm}{ticem - tOm}\right)}$ ;
e16 := m1 · Cp1 · (ticsm - tcim) =  $\frac{Uext \cdot Aais \cdot ((ticsm - tOm) - (tcim - tOm))}{\log\left(\frac{ticsm - tOm}{tcim - tOm}\right)}$ ;

solve({e1, e2, e3, e4, e5, e6, e7, e9, e11, e12, e13, e8, e10, e14, e15, e16}, [tcom, tcim, ticom, ticim, tstm, tetm, ttlm, tacsrm, tacsem, tacssm, fcal, tcons, facs, Tt2, ticem, ticsm]);

```

$tcom = 314.1496474$, $tcim = 311.0879675$, $ticom$
 $= 312.6238228$, $ticim = 310.2162559$, $tstm$
 $= 312.0491079$, $tetm = 310.9493356$, $ttlm$
 $= 311.4743931$, $tacsrm = 310.8684524$,
 $tacsem = 311.5431127$, $tacssm$
 $= 310.3624572$, $fcal = 0.08991079360$,
 $tcons = 310.6663883$, $facs$
 $= 0.5676228523$, $Tt2 = 310.3741469$, $ticem$
 $= 313.8939326$, $ticsm = 311.3195589$

Diciembre.

```

Qp := 4179; It := 7954.6; m1 := 0.4229; Cp1 := 3850; Cp2 := 4179; m2 := 0.4166; macs := 0.65; mcal := 0; mcons := 0.033;

tred := 278.15; Et2 := 0.25; terad := 321.15; tsrad := 311.15; Uext := 2.669; Aais := 5.228; t0m := 280.15;
e1 := Qp = It - m1 · Cp1 · (tcom - tcim);
e2 := m1 · Cp1 · (ticem - ticsm) = m2 · Cp2 · (ticom - ticim);
e3 := 0.7 =  $\frac{m2 \cdot Cp2 \cdot (ticom - ticim)}{m1 \cdot Cp1 \cdot (ticem - ticsm)}$ ;
e4 := m2 · Cp2 · (ticom - ticim) = (macs + mcal) · Cp2 · (tstm - tetm);
e5 :=  $t_{t1m} = \frac{ticom \cdot m2 + tetm \cdot (macs + mcal)}{m2 + (macs + mcal)}$ ;
e6 := 0.5 =  $\frac{(tstm - t_{t1m})}{(ticom - t_{t1m})}$ ;
e7 := tstm - tacsrm = tacsem - tacssm;
e9 := macs · (tacsem - tacssm) = mcons · (tconsrm - tred);
e11 := 0.7 =  $\frac{(tstm - tacsrm)}{tstm - tacssm}$ ;
e12 := fcal =  $\frac{(tstm - tsrad)}{(terad - tsrad)}$ ;
e13 := tetm · (macs + mcal) = tsrad · mcal + tacsrm · macs;
e8 := facs =  $\frac{tconsrm - tred}{333.15 - tred}$ ;
e10 := Tt2 =  $\frac{tacsem \cdot macs + tred \cdot mcons}{macs + mcons}$ ;
e14 := Et2 =  $\frac{tconsrm - Tt2}{tacsem - Tt2}$ ;
e15 := m1 · Cp1 · (tcom - ticem) =  $\frac{Uext \cdot Aais \cdot ((tcom - t0m) - (ticem - t0m))}{\log\left(\frac{tcom - t0m}{ticem - t0m}\right)}$ ;
e16 := m1 · Cp1 · (ticsm - tcim) =  $\frac{Uext \cdot Aais \cdot ((ticsm - t0m) - (tcim - t0m))}{\log\left(\frac{ticsm - t0m}{tcim - t0m}\right)}$ ;

solve({e1, e2, e3, e4, e5, e6, e7, e9, e11, e12, e13, e8, e10, e14, e15, e16}, {tcom, tcim, ticom, ticim, tstm, tetm, t_{t1m}, tacsrm, tacsem, tacssm, fcal, tconsrm, facs, Tt2, ticem, ticsm});

```

$tcom = 303.9610166$, $tcim = 301.6420871$, $ticom$
 $= 302.8052545$, $ticim = 300.9996001$, $tstm$
 $= 302.2980838$, $tetm = 301.1407982$, t_{t1m}
 $= 301.7909131$, $tacsrm = 301.1407982$,
 $tacsem = 301.8021043$, $tacssm$
 $= 300.6448187$, $fcal = -0.8851916225$,
 $tconsrm = 300.9450184$, $facs$
 $= 0.4144548805$, $Tt2 = 300.6593232$, $ticem$
 $= 303.7578258$, $ticsm = 301.8270678$



ANEXO 3: COMPONENETES

TÉRMICA

CAPTADORES

IBERSOLAR

CAPTADOR PLANO VERTICAL SELECTIVO OPS-V210

El captador plano vertical OPS-V210 posee un absorbedor de aluminio con recubrimiento selectivo (Mirotherm) con tubos verticales de cobre en disposición de parrilla, unidos al absorbedor con soldadura láser. Se ofrece con un área de 2.09 m² de superficie. Están disponibles para sistemas de circulación natural y forzada.



Información Técnica de Producto

- Material del absorbedor: láminas de aluminio y tubo de cobre.
- Tratamiento de la superficie del absorbedor: selectivo(Mirotherm).
- Material de sellado: EPDM y silicona.
- Material de la carcasa (marco y cubierta trasera): aluminio.
- Material de aislamiento: lana de roca de 40 kg/ m³, con espesor de 40 mm.
- Garantía: 10 años.

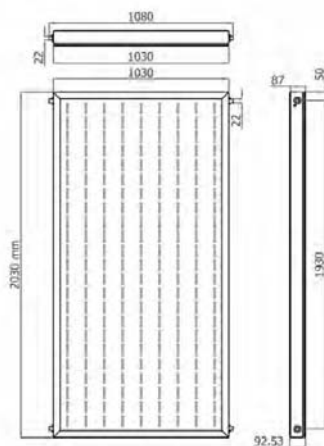
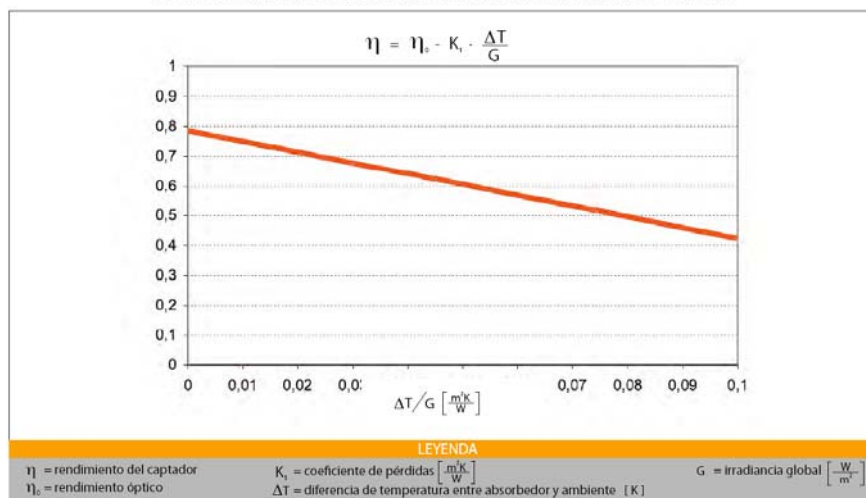
REFERENCIA		01010110/100404
Modelo		OPS-V210
Captador	Unidades	Valores
Dimensiones (Ancho x Alto x Profundo)	mm	1030 x 2030 x 92.5
Área bruta	m ²	2.09
Área de apertura	m ²	1.92
Número de cubiertas		1
Espesor de la cubierta	mm	4
Material de la cubierta		Vidrio templado de bajo contenido en hierro
Tubos verticales		9 tubos de cobre
Diámetro de los tubos verticales	mm	8
Separación entre tubos	mm	100
Tubos horizontales		2 tubos de cobre
Diámetro de los tubos horizontales	mm	22
Construcción tipo		Parrilla
Peso en vacío	kg	48.20
Peso en funcionamiento	kg	50.33
Material de la carcasa		Aluminio lacado negro
Absorbedor		
Tratamiento del absorbedor		Mirotherm
Rendimiento óptico	%	78.6
Coefficiente de pérdidas k ₁	W/m ² K	3.62
Coefficiente de pérdidas k ₂	W/m ² K ²	0.021
Aislamiento		Lana de Roca
Espesor aislamiento lateral y posterior	mm	25 / 40
Hidráulica		
Volumen fluido caloportador	litros	1.36
Fluido Caloportador		Propilenglicol
Presión de trabajo	bar	10
Presión de prueba	bar	15
Caudal recomendado	l/hm ²	50
Conexiones de tubo liso	mm	22
Temperatura de estancamiento *	°C	191
GPS		GPS-8176

* Radiación a 1000 W/m²



TÉRMICA

CURVA DE RENDIMIENTO DEL CAPTADOR PLANO VERTICAL SELECTIVO OPS-V210



REFERENCIAS DE ESTRUCTURAS PARA CAPTADOR PLANO VERTICAL OPS-V210

	1 Captador	2 Captadores	3 Captadores	4 Captadores	5 Captadores	6 Captadores
ALUMINIO						
Inclinación:						
0° c/ anclaje	01080110/103790	01080110/103791	01080110/103821	01080110/103824	01080110/103826	01080110/103827
0° salvateja	01080210/103794	01080110/103795	01080110/103828	01080110/103830	01080110/103832	01080110/103833
35, 45, 50° c/ anclaje	01080210/103798	01080210/103800	01080210/103803	01080210/103835	01080210/103837	01080210/103838
Racor de Unión			01090600/101241			
Tapón			01090600/101349			

IBERSOLAR ENERGÍA, S.A.
 Pol. Ind. Camí Ral - C/ Isaac Peral 13 Nave 9 - 08850 Gavà (Barcelona)
 Tel. (+34) 936 350 440 - Fax. (+34) 936 654 510 - info@ibersolar.com - www.ibersolar.com

www.ibersolar.com



C892

Solar Collector Factsheet Ibersolar OPS-V210



Modelo OPS-V210
Tipo Colector plano
Fabricante Ibersolar Energia S.A.
Dirección Polígono Industrial Camí Ral
C/ Isaac Peral 13 Nave 9
ES-08850 Gavà - Barcelona
Teléfono +34 936 350 440
Telefax +34 936 654 510
Email ac@ibersolar.com
Internet www.ibersolar.com
Fecha de ensayo 10.2008

- ☒ Ensayo de rendimiento EN12975:2006
- ☒ Ensayo de durabilidad EN12975:2006



Dimensiones

Longitud total	2.031 m
Anchura total	1.027 m
Superficie bruta	2.086 m ²
Área de apertura	1.903 m ²
Área de absorbedor	1.879 m ²
Peso vacío	41 kg

Datos técnicos

Caudal mínimo	80 l/h
Caudal nominal	140 l/h
Caudal máximo	350 l/h
Contenido de fluido	1.4 l
Presión máxima de operación	10 bar
Temperatura de estancamiento	188 °C

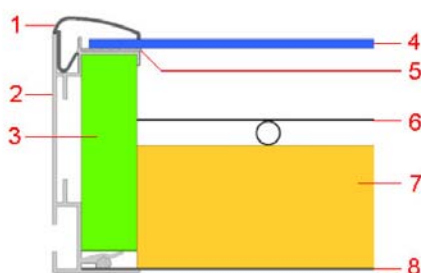
Montaje del captador

- ☒ En tejado con inclinación
- ☐ Integrado en tejado con inclinación
- ☒ Sobre tejado plano con estructura
- ☒ A la fachada

Informaciones adicionales

- ☒ Módulos disponibles en diversos tamaños
 - ☐ Cubierta intercambiable
- Conexiones hidráulicas**
Tubo de cobre, diámetro nominal 22 mm

Construcción

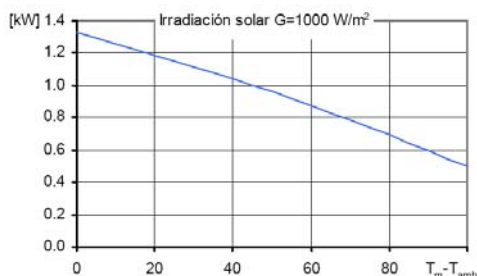


- 1 Listón de cubierta
- 2 Marco
- 3 Aislamiento térmico lateral
- 4 Cubierta
- 5 Soporte del vidrio
- 6 Absorbedor
- 7 Aislamiento térmico
- 8 Pared posterior



C892

Rendimiento máximo W_{peak}



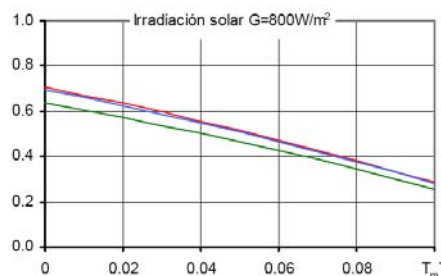
Rendimiento máximo W_{peak} 1325 W

Capacidad térmica* 5.3 kJ/K

Caudal usado para los ensayos 150 l/h

Fluido de transferencia de calor Agua-Glicol 33.3%

Eficiencia relativa η



Área referencia **Total** **Apertura** **Absorbedor**

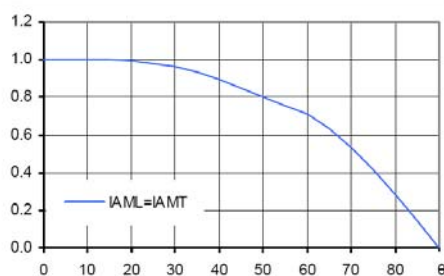
η_0 0.635 0.696 0.705

a_1 [WK⁻¹m⁻²] 3.04 3.34 3.38

a_2 [WK⁻²m⁻²] 0.0093 0.0102 0.0103

*) Capacidad térmica específica C del captador sin líquido, determinado según 6.1.6.2 del EN12975-2:2006

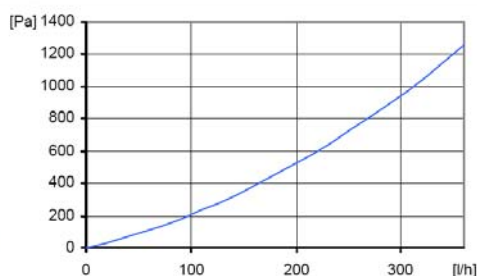
Modificador del ángulo IAM



K1, transversal IAM a 50° 0.80

K2, longitudinal IAM a 50° 0.80

Caída de presión Δp



Caída de presión para caudal nominal:

$\Delta p = 320$ Pa ($T = 20^\circ\text{C}$)

SPF Simulación de sistemas con Polysun

Breve descripción del sistema

Clima: Suiza central, orientación del captador: Sur, agua fría 10°C, agua caliente sanitaria 50°C

Agua caliente sanitaria: $F_{ss}^* = 60\%$

Depósito 450 litros, Inclinación del captador 45°, Necesidad diaria de energía 10 kWh (4-6 personas), Necesidad energética del sistema de referencia 4200 kWh/año

Precalentamiento del ACS: $F_{ss}^* = 25\%$

2 depósitos: 1500 litros & 2500 litros, Inclinación del captador 30°, Agua caliente sanitaria 10°C/día (200 personas), Pérdida diaria de calor (circulación & depósito) 60 kWh, Necesidad energética del sistema de referencia 191700 kWh/año

Calefacción de espacio: $F_{ss}^* = 25\%$

Almacenamiento combinado 1200 litros, Inclinación del captador 45°, Necesidad diaria de energía 10 kWh (4-6 personas), Edificio 200 m², Construcción intermedia fuerte, bien aislada, Necesidades potencia de calentamiento 5.8 kW (temperatura exterior -8°C), Necesidades energéticas de calentamiento 12140 kWh/año, Necesidades energética del sistema referencia 16340 kWh/año

Superficie requerida**
Número de captadores

Rendimiento solar**

6.36 m²
3.3 captadores 399 kWh/m²

82.4 m²
43.3 captadores 583 kWh/m²

21.0 m²
11.0 captadores 255 kWh/m²

*) Fractional solar savings: Fracción de la energía final que, gracias al sistema solar, puede ser ahorrada comparada con un sistema de referencia.
**) La necesidad en superficie y el rendimiento solar son definidos en relación a la superficie de apertura.

TÉRMICA

ANTICONGELANTE

PROPILENGLICOL

TYFOCOR L PARA CAPTADOR PLANO

Anticongelante concentrado y anticorrosión para usar en el circuito primario de sistemas solares como fluido caloportador. Previene el ensuciamiento de las superficies asegurando una alta eficiencia térmica. Los inhibidores de corrosión que contiene Tyfocor L protegen los materiales metálicos usados en instalaciones solares contra la corrosión y los depósitos a lo largo del tiempo.

Tyfocor L es miscible con agua y dependiendo de la concentración, puede llegar a prevenir el congelamiento hasta los -50°C. Tyfocor L es un fluido no tóxico, inoloro e higroscópico. Basado en 1,2-propilenglicol, es una sustancia toxicológicamente inofensiva. Se trata de un fluido libre de nitrilos.

Presentación en volúmenes de 10 y 20 litros.



Modos de uso

- Dilución con al menos 25% v/v y no más de 75% v/v de agua.
- Mezcla con agua potable (100mg/kg Cl- max) o agua desmineralizada.
- Para prevenir la corrosión, es conveniente no sobrepasar el siguiente rango: 40-75% vol. Tyfocor L.
- Temperaturas superiores a 170°C provocan envejecimiento prematuro. Se recomienda que los vasos de expansión sean lo suficientemente grandes.

Tyfocor L adjunta una hoja de seguridad según directivas de la CEE 91/155/CEE y 2001/58/CEE.

REFERENCIA	CAPACIDAD
01100200/101202	10 litros concentrado
01100200/101205	10 litros al 40%
01100200/101206	20 litros al 40%

PROPIEDADES TYFOCOR L CONCENTRADO

Aspecto	claro, líquido incoloro	
Punto de Ebullición	>150°C	ASTM D 1120
Punto de Solidificación	<-50°C	DIN ISO 3016
Densidad (20°C)	1.054-1.058g/cm ³	DIN 51757/ASTM D 4052
Viscosidad (20°C)	68-72mm ² /s	DIN 51562
Índice de refracción (20°C)	1.435-1.437	DIN 51423
Reserva de alcalinidad	10-13mL 0.1n HCl	ASTM D1121
pH concentrado	6.5-8.0	ASTM D 1287
pH diluido al 1:2 con agua destilada	7.5-8.5	ASTM D 1287
Contenido en agua	<4%v/v	ASTM D1123/ DIN 51777
Punto de Inflamación	>100°C	DIN 51758

PROPIEDADES TYFOCOR L AL 40 %

Índice de refracción al 40% (20°C)	1.3801	DIN 51423
Resistencia a las heladas al 40%	-21°C	DIN ISO 3016
Densidad al 40% (20°C)	1037g/cm ³	DIN 51757/ASTM D 4052



technitub
tubo de refrigeración



**Tubo de cobre
para la refrigeración**


B
marzo-2003

Debido a la actual situación de los precios en las materias primas, resulta imposible mantener una lista de precios durante un largo periodo de tiempo, por lo que, periódicamente y a medida que vayan produciéndose variaciones, iremos publicando esta hoja en nuestra página WEB con los precios a aplicar en cada momento. www.pecomark.com

B1

TUBO COBRE EN ROLLOS DE 15 mts.

B1-01-003

	Grueso de pared mm	Ø exterior en mm	Modelo	Código	€
	0,80	4,76	TR-3/16"	201010	
	0,80	6,35	TR-1/4"	201013	
	0,80	7,94	TR-5/16"	201016	
	0,80	9,52	TR-3/8"	201020	
	0,80	12,70	TR-1/2"	201022	
	0,80	15,87	TR-5/8"	201026	
	1,00	19,06	TR-3/4"	201028	
	1,00	22,23	TR-7/8"	201030	


TUBO COBRE EN ROLLOS DE 30 mts.

B1-01-003

	Grueso de pared mm	Ø exterior en mm	Modelo	Código	€
	0,80	6,35	TR-1/4"	201014	
	0,80	9,52	TR-3/8"	201021	
	0,80	12,70	TR-1/2"	201023	
	0,80	15,87	TR-5/8"	201027	


TUBO COBRE RÍGIDO EN BARRAS DE 5 mts.

B1-03-003

	Grueso de pared mm	Ø exterior en mm	Modelo	Código	€
	0,80	9,52	TB-3/8"	203010	
	0,80	12,70	TB-1/2"	203012	
	0,80	15,87	TB-5/8"	203014	
	1,00	19,06	TB-3/4"	203016	
	1,00	22,23	TB-7/8"	203018	
	1,00	25,40	TB-1"	203020	
	1,00	28,57	TB-1-1/8"	203022	
	1,25	34,92	TB-1-3/8"	203024	
	1,25	41,27	TB-1-5/8"	203026	
	1,25	53,97	TB-2-1/8"	203028	
	1,65	66,67	TB-2-5/8"	203030	
	2,00	66,67	TB-2-5/8"	203031	
	1,65	79,37	TB-3-1/8"	203032	
	2,50	79,37	TB-3-1/8"	203033	

TUBO CAPILAR DE COBRE

B1-04-005

	MODELOS Ø en mm		En rollos de 15 m		En rollos de 105 m	
	Ø interior	Ø exterior	Código	€ Rollo	Código	€ Rollo
	0,80	2	204010		204011	
	1,00	2	204015		204016	
	1,00	3	204017		204018	
	1,25	2,45	204020		204021	
	1,50	2,50	204025		204026	
	1,50	3	204027		204028	
	2	3	204030		204031	
	2	4	204032		204033	

PECOMARK

B3



K-FLEX DUCT NET

E Lista de Precios Oct. 2008

K-FLEX DUCT NET: el aislante de ancho 1500 mm., específico para conductos.

K-FLEX DUCT NET				
rollos h/mm 1500				
espesor mm	cantidad/rollo m/lin. m²		Estándar €/m²	Aluminio €/m²
6	30	45	11,76	22,41
8	25	37,5	15,58	25,31
10	20	30	17,02	27,85
12	15	22,5	20,19	30,88
15	12	18	23,78	34,80
RITE	20	10	15	26,64
RITE	30	6	9	36,22

K-FLEX ACCESORIOS

Adhesivo K 414 *

Litro/Envases	0,5	0,8	2,6
Envases/caja	20	20	6
€/Envases	9,41	12,63	30,70

Diluyente especial *

Litro/Envases	1
Envases/caja	12
€/Envases	10,94

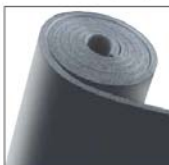
Cinta adhesiva anti-condensación

Largo/m	10	15	30
Ancho/mm	50	50	50
Espes./mm	3	3	3
Rollos/caja	24	12	10
€/rollo	11,52	17,23	34,43

Cinta autoadhesiva ALU AA 130

Largo/m	50	50	50
Ancho/mm	50	75	100
Rollos/caja	30	20	15
€/rollo	10,61	15,96	18,90

·PRECIOS DE CONSULTAR
·Material bajo pedido
·Plazo de entrega 3 semanas.



K-FLEX DUCT NET

Plancha con una superficie adhesiva protegida por un film de silicona.



K-FLEX DUCT NET ALU

Plancha con una superficie adhesiva protegida por un film de silicona. La superficie exterior está recubierta por una lámina de aluminio 80 µ.

N/A no incluido

L'ISOLANTE K-FLEX España, se reserva el derecho de variar los precios y especificaciones técnicas de sus productos, sin previo aviso.

EMBALAJE

EMBALAJE CON PELÍCULA DE POLIÉTERO DE ALTA RESISTENCIA.

Contenidos:
cantidades,
los diámetros de
los plásticos son
todos iguales.



Los precios incluyen el embalaje estándar.
Para paquetes especiales u otro deben definirse las condiciones específicas.

AENOR
UNE-EN 29002
ER-147/2/96



SISTEMA DE GESTIÓN
QUALITÀ
UNI EN ISO 9001:2000
CERTIFICATO DA CERTIQUALITY



L'ISOLANTE K-FLEX España S.A.

Polígono Industrial Can Sunyer - Carretera Nacional II km 582
08740 SANT ANDREU DE LA BARRA (Barcelona)
Teléfono: 902.443.444 - Fax: 93.682.26.60
www.kflex.com - e-mail: kflex@kflexspan.com

Miembro de



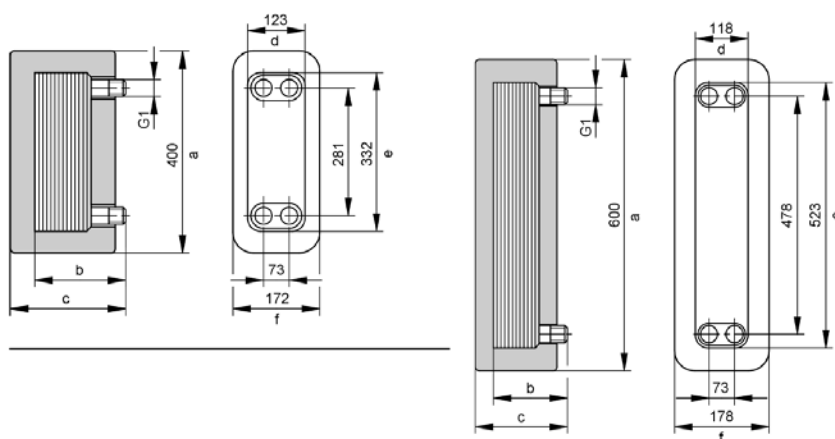
Datos técnicos nº de pedido de 3003 488 a 3003 495

Datos técnicos

Vitotrans 100	Nº de pedido	3003 488	3003 489	3003 490	3003 491	3003 492	3003 493	3003 494	3003 495
Dimensiones sin aislamiento térmico ni uniones roscadas									
Longitud b	mm	100	148	196	244	96	128	165	211
Anchura d	mm	123	123	123	123	118	118	118	118
Altura e	mm	332	332	332	332	523	523	523	523
Dimensiones con aislamiento térmico									
Longitud total c	mm	130	186	230	282	160	194	242	337
Anchura total f	mm	172	172	172	172	178	178	178	178
Altura total	mm	400	400	400	400	600	600	600	600
Peso	kg	4,0	6,4	8,8	11,2	6,8	10,1	14,0	18,8
Intercambiador de calor con aislamiento térmico									
Capacidad	litros	0,54/0,60	1,14/1,20	1,74/1,80	2,34/2,40	0,85/0,95	1,52/1,62	2,28/2,37	3,22/3,32
primaria/secundaria									
Presión máx. de servicio admisible	bar	30	30	30	30	30	30	30	30
primaria/secundaria									
Temp. de servicio admisible	°C	200	200	200	200	200	200	200	200
primaria/secundaria									
Conexiones	G	1	1	1	1	1	1	1	1
primarias/secundarias									

Nº de pedido de 3003 488 a 3003 491

Nº de pedido de 3003 492 a 3003 495



Potencias térmicas con distintos saltos térmicos primarios y secundarios

Vitotrans 100	Nº de pedido	3003 488	3003 489	3003 490	3003 491	3003 492	3003 493	3003 494	3003 495
Pri- 130/75°C	kW	46*1	93*1	140*1	162*1	—	—	—	—
Sec. 70/90°C									

*1 Las potencias están limitadas por la pérdida de carga.

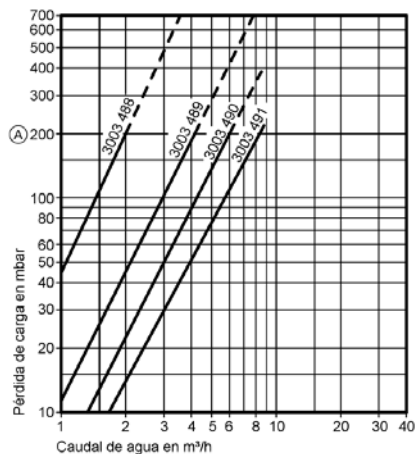
4 **VIESSMANN**

VITOTRANS 100

5628 151-6 E

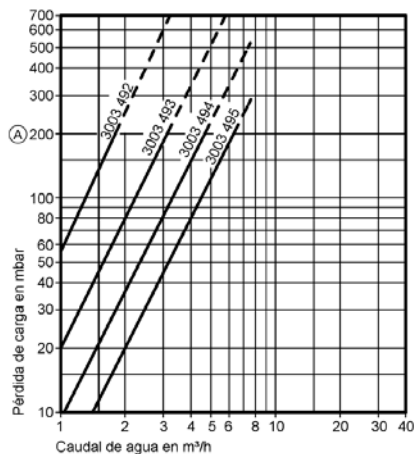
Datos técnicos n° de pedido de 3003 488 a 3003 495 (continuación)

N° de pedido de 3003 488 a 3003 491



(A) Pérdida de carga máxima recomendada

N° de pedido de 3003 492 a 3003 495



(A) Pérdida de carga máxima recomendada

Volumen de suministro

Vitotrans 100 con semicoquillas de poliuretano inyectado para aislamiento térmico.

Indicación

La Directiva de Equipos a Presión 97/23/CE determina si el Vitotrans 100 está sujeto a un control obligatorio.

Indicaciones para la planificación

Instalación del circuito primario de caldera


El Vitotrans 100 debe conectarse en contracorriente.
La ubicación debe seleccionarse de forma que se garanticen una purga de aire y un vaciado correctos.
Durante el montaje, debe dejarse una distancia mínima la pared de 150 mm, ya que el aislamiento térmico se monta tras la instalación del intercambiador de calor.

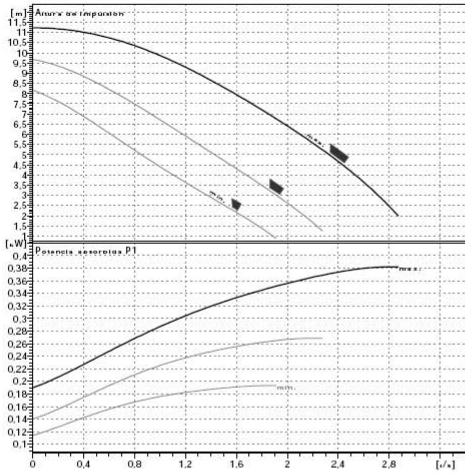
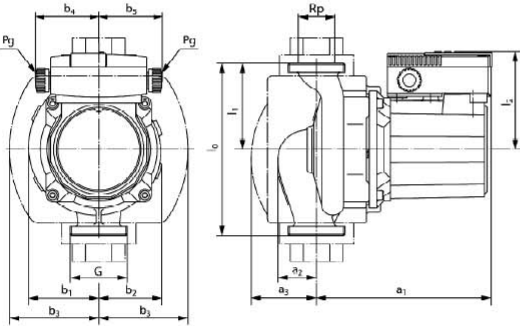
Todas las conexiones se encuentran en un lado.

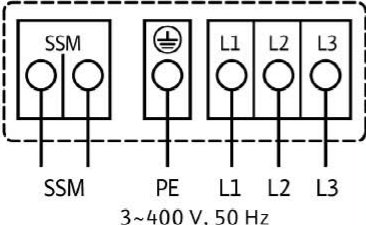
5828 151-6 E

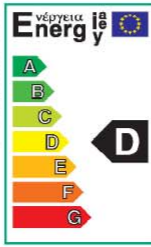
VITOTRANS 100

VIEMANN 7

WILO SE Nortkirchenstr. 100 D 44263 Dortmund Teléfono 0231/4102-0 Telefax 0231/4102-7363	TOP-S 30/10 3~ PN 10 Instalación: Standard pump	
Cliente Nº Cliente Contacto Elaborado por	Proyecto Nº proyecto Nº pos. Location	Página 1 / 1 Fecha 16.07.2009





3~400 V, 50 Hz

Datos de trabajo teóricos			
Caudal	0	l/s	
Altura de impulsión	0	m	
Fluido			
Temperatura fluido	0	K	
Densidad	998,3	kg/m ³	
Viscosidad cinemática	1,005	mm ² /s	
Presión de vapor	0	kPa	

Datos bomba			
Marca	WILO		
Tipo	TOP-S 30/10 3~ PN 10		
Tipo inst.	Bomba simple		
Presión nominal max.	PN10		
Temp. mín. fluido	253	K	
Temp. máx. fluido	403	K	

Datos hidráulicos (punto de trabajo)			
Caudal		l/s	
Altura de impulsión		m	
Potencia absorbida P1		kW	
Velocidad	2600	1/min	

Altura mín. aspiración					
Temperatura	323	368	383	403	K
Altura mín. aspiración	0,5	5	11	24	m

Materiales					
Carcasa	EN-GJL 200				
Eje	X 46 Cr 13				
Redete	PP, reforzado con fibra de vidrio				
Cojinete	Carbon, impre. d. metal				

Medidas					
a1	172	b3	92	i2	92
a2	45	b4	66	Pg	2 x 13,5
a3	68	b5	66	G	G2
b1	69	i0	180		
b2	68	i1	90		

Lado aspiración	Rp 1¼/G 2	/ PN 10
Lado impulsión	Rp 1¼/G 2	/ PN 10
Peso	6,3	kg

Datos del motor			
Energy efficiency class	D		
Pot. nominal P2	0,18	kW	
Potencia absorbida P1	0,4	kW	
Velocidad nominal	2610	1/min	
Tensión nominal	3~400 V, 50 Hz		
Intensidad máx. absorbida	4,79	A	
Tipo de protección	IP 44		
Tolerancia tensión			

TÉRMICA

VASOS DE EXPANSIÓN

VASO DE EXPANSIÓN PARA APLICACIONES SOLARES

Los vasos de expansión con membrana resistentes a altas temperaturas están recomendados para sistemas solares.

Su función es absorber las dilataciones del fluido caloportador en caso de aumento de temperatura en el circuito primario.

Sin un vaso de expansión sería imposible evitar el escape del fluido de trabajo en un circuito cerrado a través de la válvula de seguridad cuando el fluido primario se calienta. Al calentarse, una parte del fluido entra en el vaso de expansión. Cuando el sistema se enfría, regresa al circuito. El vaso de expansión sirve así también para mantener la presión en el circuito dentro del rango de presiones admisibles, impidiéndose la introducción de aire en el circuito cuando el sistema vuelve a enfriarse.



Información Técnica de Producto

- Especialmente diseñados para sistemas solares de ACS.
- Vasos de expansión en acero inoxidable (12 l a 600 l).
- Membrana resistente al glicol y a altas temperaturas, especial para fluido solar DIN 4807.
- Temperaturas óptimas de trabajo -10°C a 100°C.
- Certificación Europea CE (en conformidad con la Directiva Europea 97/23/EC)

REFERENCIA	Capacidad [l]	Presión Máx. [bar]	Presión de Precarga [bar]	Conexión Gas Macho	Dimensiones D[mm] H[mm]	
01090120/102903	12	10	2.5	3/4"	260	310
01090120/102904	18	10	2.5	3/4"	260	375
01090120/102905	24	10	2.5	3/4"	260	485
01090120/102906	35	10	2.5	3/4"	380	450
01090120/102907	50	10	2.5	3/4"	380	590
01090120/102908	80	10	2.5	3/4"	460	690
01090120/102909	100	10	2.5	3/4"	460	810
01090120/102910	150	10	2.5	1"	510	970
01090120/102911	200	10	2.5	1"	590	985
01090120/102912	250	10	2.5	1"	590	1230
01090120/102913	300	10	2.5	1"	650	1220
01090120/102914	400	10	2.5	1"	650	1550
01090120/102915	500	10	2.5	1"	750	1575
01090120/102916	600	10	2.5	1"	750	1720

www.ibersolar.com

TE056

IBERSOLAR
SOLUCIONES DE ENERGÍA SOLAR

TÉRMICA

ACUMULADORES

IBERSOLAR

ACUMULADOR VERTICAL VITROFLEX DE ACS SOLAR CON SERPENTÍN EXTRAIBLE

Los acumuladores de agua caliente sanitaria (ACS) Vitroflex, con un serpentín extraíble son apropiados para viviendas unifamiliares, hoteles y sistemas centralizados de ACS o calefacción. Se ofrecen en volúmenes desde 1500 litros hasta 5000 litros en disposición vertical, con posibilidad de extraer el serpentín.



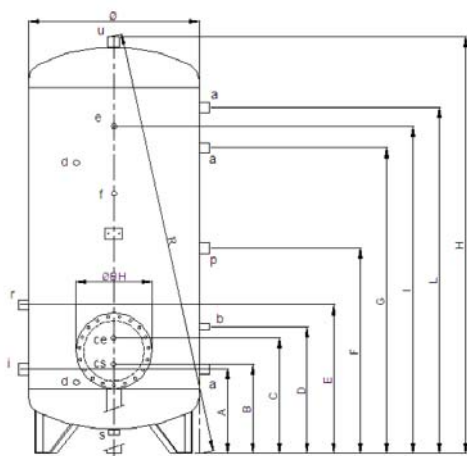
Información Técnica de Producto

- Tratamiento interno Vitroflex con revestimiento bicomponente epoxi-cerámico, resistente a la corrosión, según norma ISO 7253.
- Acumulador con sistema de protección catódica con ánodo de magnesio.
- El intercambiador es del tipo serpentín extraíble, presión máxima de operación de 12 bar y 95 °C de temperatura.
- Aislamiento realizado con poliuretano rígido de alta densidad en 3ª clase de resistencia al fuego.
- Acabado externo en skay, embellecedores y tapas en plástico.
- Accesorios opcionales:
 - Ánodo electrónico a corriente impresa.
 - Resistencia eléctrica.
 - Termómetro.
 - Termostato.

REFERENCIA		01040122/101079	01040122/101480	01040122/101481	01040122/101082	01040122/101483	01040122/101484
Volumen	litros	1500	2000	2500	3000	4000	5000
Temperatura máx. de operación	°C	95	95	95	95	95	95
Presión máx. de operación	bar	6	6	6	6	6	6
Presión máx. de operación de intercambiador	bar	12	12	12	12	12	12
Diámetro exterior con aislamiento	mm	1200	1270	1400	1420	1600	1800
Altura total	mm	2295	2600	2665	2865	2950	2980
Espesor aislante	mm	85	70	85	70	70	70
Peso	kg	262	332	343	398	537	631

TÉRMICA

DIMENSIONES (mm)	1500 l	2000 l	2500 l	3000 l	4000 l	5000 l
Φ	1000	1100	1200	1250	1400	1600
H	2295	2600	2665	2865	2950	2980
A	555	550	575	580	600	605
B	605	610	630	640	675	680
C	805	810	830	840	875	880
D	705	700	730	730	750	755
E	855	850	875	880	900	905
F	1155	1150	1175	1180	1200	1215
G	1495	1490	1515	1520	1540	1555
I	1865	1880	1790	1850	1855	1850
L	1875	2150	2175	2380	2400	2415
R	2330	2655	2715	2930	3030	3085
Φ BH	480	480	480	480	480	480
a,r,s,p	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"
b,e	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"
d	-	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"
f	1/2"	-	-	-	-	-
i,u	2"	2"	2 1/2"	3"	3"	3"
ce, cs	2"	2"	2"	2"	2"	2"
Nº an/el	1	2	2	2	2	2
Area serp extr. en m²	3	4	5	5	8	10




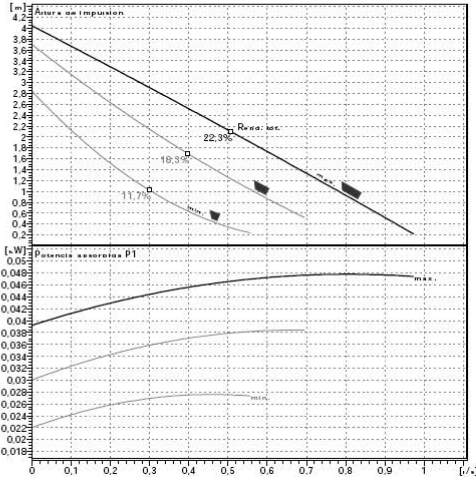
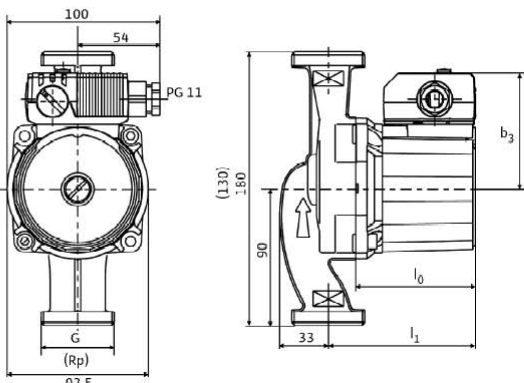
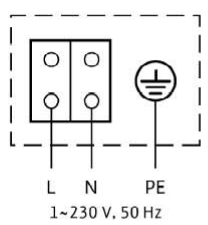
LEYENDA

a	Anodo de magnesio / entradas auxiliares
b	Termostato / sensor de temperatura
ce/cs	Entrada / salida serpentín
d,f	Anodo electrónico
e	Termómetro
i	Entrada agua fría
u	Salida agua caliente
r	Recirculación
s	Descarga
p	Entrada auxiliar

IBERSOLAR ENERGÍA, S.A.
Pol. Ind. Camí Ral - C/ Isaac Peral 13 Nave 9 - 08850 Gavà (Barcelona)
Tel. (+34) 936 350 440 - Fax. (+34) 936 654 510 - info@ibersolar.com - www.ibersolar.com

www.ibersolar.com

WILO SE Nortkirchenstr. 100 D 44263 Dortmund Teléfono 0231/4102-0 Telefax 0231/4102-7363	Star-ST 25/4 Instalación: Solar thermic pump	
Cliente Nº Cliente Contacto Elaborado por	Proyecto Nº proyecto Nº pos. Location	Pagina 1 / 1 Fecha 16.07.2009

  	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="3">Datos de trabajo teóricos</td> </tr> <tr> <td>Caudal</td> <td>0</td> <td>l/s</td> </tr> <tr> <td>Altura de impulsión</td> <td>0</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>Fluido</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Temperatura fluido</td> <td>0</td> <td>K</td> </tr> <tr> <td>Densidad</td> <td>998,3</td> <td>kg/m³</td> </tr> <tr> <td>Viscosidad cinemática</td> <td>1,005</td> <td>mm²/s</td> </tr> <tr> <td>Presión de vapor</td> <td>0</td> <td>kPa</td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="3">Datos bomba</td> </tr> <tr> <td>Marca</td> <td colspan="2">WILO</td> </tr> <tr> <td>Tipo</td> <td colspan="2">Star-ST 25/4</td> </tr> <tr> <td>Tipo inst.</td> <td colspan="2">Bomba simple</td> </tr> <tr> <td>Presión nominal máx.</td> <td colspan="2">PN10</td> </tr> <tr> <td>Temp. mín. fluido</td> <td>263</td> <td>K</td> </tr> <tr> <td>Temp. máx. fluido</td> <td>383</td> <td>K</td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="3">Datos hidráulicos (punto de trabajo)</td> </tr> <tr> <td>Caudal</td> <td></td> <td>l/s</td> </tr> <tr> <td>Altura de impulsión</td> <td></td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>Velocidad</td> <td>2200</td> <td>1/min</td> </tr> <tr> <td>NPSH</td> <td>0</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>Diámetro rodete</td> <td>0</td> <td>mm</td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="3">Materiales</td> </tr> <tr> <td>Carcasa</td> <td colspan="2">EN-GJL-200 - capa de catáforosis</td> </tr> <tr> <td>Rodete</td> <td colspan="2">Polipropileno</td> </tr> <tr> <td>Eje</td> <td colspan="2">Acero inox. (X 40 Cr 13)</td> </tr> <tr> <td>Cojinete</td> <td colspan="2">Grafito</td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="7">Medidas</td> </tr> <tr> <td>i0</td> <td>79</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>b3</td> <td>73</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>i2</td> <td>97</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Rp</td> <td>Rp1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>G</td> <td>1 1/2"</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Lado aspiración</td> <td>Rp 1/G 1/PN10</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Lado impulsión</td> <td>Rp 1/G 1/PN10</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso</td> <td>2,4</td> <td>kg</td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="3">Datos del motor</td> </tr> <tr> <td>Pot. nominal P2</td> <td>0,017</td> <td>kW</td> </tr> <tr> <td>Velocidad nominal</td> <td>2200</td> <td>1/min</td> </tr> <tr> <td>Tensión nominal</td> <td>1~230 V, 50 Hz</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Intensidad máx. absorbida</td> <td>0,21</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>Tipo de protección</td> <td>IP 44</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tolerancia tensión</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Referencia de la versión estándar</td> <td>4050265</td> </tr> </table>	Datos de trabajo teóricos			Caudal	0	l/s	Altura de impulsión	0	m	Fluido			Temperatura fluido	0	K	Densidad	998,3	kg/m ³	Viscosidad cinemática	1,005	mm ² /s	Presión de vapor	0	kPa	Datos bomba			Marca	WILO		Tipo	Star-ST 25/4		Tipo inst.	Bomba simple		Presión nominal máx.	PN10		Temp. mín. fluido	263	K	Temp. máx. fluido	383	K	Datos hidráulicos (punto de trabajo)			Caudal		l/s	Altura de impulsión		m	Velocidad	2200	1/min	NPSH	0	m	Diámetro rodete	0	mm	Materiales			Carcasa	EN-GJL-200 - capa de catáforosis		Rodete	Polipropileno		Eje	Acero inox. (X 40 Cr 13)		Cojinete	Grafito		Medidas							i0	79						b3	73						i2	97						Rp	Rp1						G	1 1/2"						Lado aspiración	Rp 1/G 1/PN10		Lado impulsión	Rp 1/G 1/PN10		Peso	2,4	kg	Datos del motor			Pot. nominal P2	0,017	kW	Velocidad nominal	2200	1/min	Tensión nominal	1~230 V, 50 Hz		Intensidad máx. absorbida	0,21	A	Tipo de protección	IP 44		Tolerancia tensión			Referencia de la versión estándar	4050265
Datos de trabajo teóricos																																																																																																																																																									
Caudal	0	l/s																																																																																																																																																							
Altura de impulsión	0	m																																																																																																																																																							
Fluido																																																																																																																																																									
Temperatura fluido	0	K																																																																																																																																																							
Densidad	998,3	kg/m ³																																																																																																																																																							
Viscosidad cinemática	1,005	mm ² /s																																																																																																																																																							
Presión de vapor	0	kPa																																																																																																																																																							
Datos bomba																																																																																																																																																									
Marca	WILO																																																																																																																																																								
Tipo	Star-ST 25/4																																																																																																																																																								
Tipo inst.	Bomba simple																																																																																																																																																								
Presión nominal máx.	PN10																																																																																																																																																								
Temp. mín. fluido	263	K																																																																																																																																																							
Temp. máx. fluido	383	K																																																																																																																																																							
Datos hidráulicos (punto de trabajo)																																																																																																																																																									
Caudal		l/s																																																																																																																																																							
Altura de impulsión		m																																																																																																																																																							
Velocidad	2200	1/min																																																																																																																																																							
NPSH	0	m																																																																																																																																																							
Diámetro rodete	0	mm																																																																																																																																																							
Materiales																																																																																																																																																									
Carcasa	EN-GJL-200 - capa de catáforosis																																																																																																																																																								
Rodete	Polipropileno																																																																																																																																																								
Eje	Acero inox. (X 40 Cr 13)																																																																																																																																																								
Cojinete	Grafito																																																																																																																																																								
Medidas																																																																																																																																																									
i0	79																																																																																																																																																								
b3	73																																																																																																																																																								
i2	97																																																																																																																																																								
Rp	Rp1																																																																																																																																																								
G	1 1/2"																																																																																																																																																								
Lado aspiración	Rp 1/G 1/PN10																																																																																																																																																								
Lado impulsión	Rp 1/G 1/PN10																																																																																																																																																								
Peso	2,4	kg																																																																																																																																																							
Datos del motor																																																																																																																																																									
Pot. nominal P2	0,017	kW																																																																																																																																																							
Velocidad nominal	2200	1/min																																																																																																																																																							
Tensión nominal	1~230 V, 50 Hz																																																																																																																																																								
Intensidad máx. absorbida	0,21	A																																																																																																																																																							
Tipo de protección	IP 44																																																																																																																																																								
Tolerancia tensión																																																																																																																																																									
Referencia de la versión estándar	4050265																																																																																																																																																								

TÉRMICA

ACUMULADORES

IBERSOLAR

ACUMULADOR READY SST

Los acumuladores de agua caliente sanitaria (ACS) de la serie Ready SST con serpentín fijo, incorpora grupo de bombeo bicolumna y regulador térmico. Permiten acumular directamente el agua de consumo gracias al tratamiento superficial interno al que han sido sometidos, estando protegidos frente a la corrosión mediante protecciones pasivas recambiables o protecciones activas permanentes. Además, son ideales para viviendas unifamiliares. Disponibles en volúmenes de 200, 300 y 500 litros.



Información Técnica de Producto

Acumulador Ready SST

- Tratamiento interno vitrificado con esmalto orgánico para agua potable, según normativa DIN 4753.3 presión máxima de operación de 6 bar y 95°C de temperatura.
- Acumulador sanitario con sistema de protección catódica con ánodo de magnesio.
- Aislamiento realizado con poliuretano rígido de alta densidad en 3ª clase de resistencia al fuego.
- Acabado externo en skay, embellecedores y tapas en plástico.
- Accesorios opcionales: ánodo electrónico a corriente impresa, resistencia eléctrica, termómetro y termostato.

Regulador térmico TDC3

- Dispone de una pantalla iluminada, de fácil lectura y con un extenso modo gráfico y de texto completo, libre de confusas abreviaturas.
- El manejo autoexplicativo a través de 4 teclas de entrada como softkeys permite ordenar de forma inequívoca todas las funciones.
- El control del funcionamiento y la supervisión de la instalación son posibles gracias al registro y a la evaluación de los datos. Se pueden consultar las estadísticas de días, semanas, meses y años.

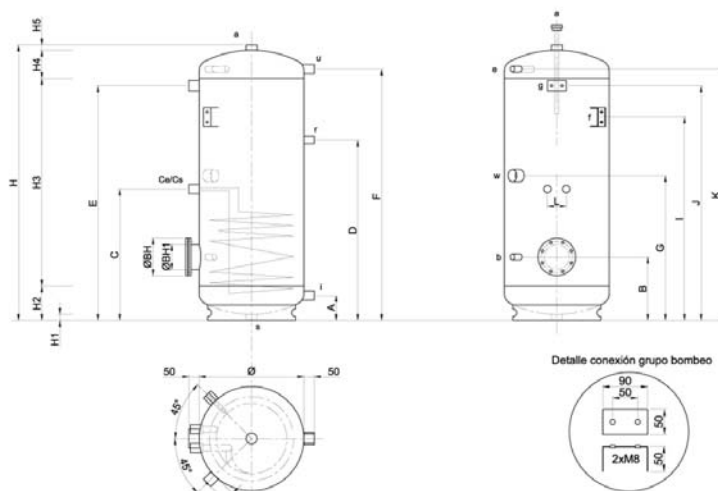
Grupo de bombeo

- Grupo de bombeo bicolumna 25-60.
- Válvula de seguridad 6 bar.
- Caudalímetro 2-15 L/min.
- Incluye kit de conexión para vaso de expansión.

REFERENCIA		01040230/102034	01040230/102035	01040230/102036
Modelo		200 l	300 l	500 l
Volumen	litros	230	300	500
Temperatura máxima de operación	°C	95	95	95
Presión máxima de operación intercambiador	bar	12	12	12
Presión máxima de operación acumulador	bar	8	8	8
Diámetro exterior con aislamiento	mm	600	600	750
Altura total	mm	1320	1570	1630
Espesor aislante	mm	50	50	50
Peso	kg			
Superficie intercambiadores primario	m²	0.90	0.90	1.25
Regulador térmico				
Tensión de red nominal	230 V 10 % (50-60Hz)			
Potencia de conmutación de los relés				
Relé electrónico (R1)	20 VA-120 VA			
Relé mecánico (R2)	460 VA			
Sensores	3 x Pt1000			
Condiciones ambientales permisibles				
Pantalla	128x64 pixels			
Salidas de relé 230V CA conectado/desconectado	1			
Relé de control eléctrico de revoluciones	1			
Número de programas	15			
Grupo de bombeo				
Conexiones	22mm			
Presión máxima de trabajo	6 bar			
Temperatura máxima de trabajo	120°C			
Bomba	UPS 25-60			

TÉRMICA

DIMENSIONES (mm)	200 l	300 l	500 l
Φ	500	500	650
H	1320	1570	1630
A	120	120	155
B	305	305	340
C	630	630	695
D	865	1115	1150
E	1125	1230	1265
F	1205	1455	1490
G	695	695	755
I	975	1080	1115
J	1125	1320	1265
K	1205	1370	1405
H1	30	30	40
H2	165	165	200
H3	995	1245	1245
H4	135	135	160
H5	25	25	25
Φ BH / Φ BH1	180/120	180/120	180/120
L	90	90	90
a, s	1 1/4"	1 1/4"	1 1/4"
b, e	1/2"	1/2"	1/2"
Ce1, Cs	1"	1"	1"
i, u	1"	1"	1"
w	1 1/2"	1 1/2"	1 1/2"
r	3/4"	3/4"	3/4"



LEYENDA

a	Ánodo	w	Resistencia eléctrica
b	Termostato / Sensor de temperatura	r	Recirculación
Ce/Cs	Entrada serpentín / Salida serpentín	s	Descarga
e	Termómetro	f	Conexión vaso de expansión
i	Entrada de agua fría	g	Conexión Grupo de bombeo
u	Salida de agua caliente		

IBERSOLAR ENERGÍA, S.A.
Pol. Ind. Camí Ral - C/ Isaac Peral 13 Nave 9 - 08850 Gavà (Barcelona)
Tel. (+34) 936 350 440 - Fax. (+34) 936 654 510 - info@ibersolar.com - www.ibersolar.com



CALDERAS DE DOBLE SERVICIO

Delta Performance y Delta Performance MV

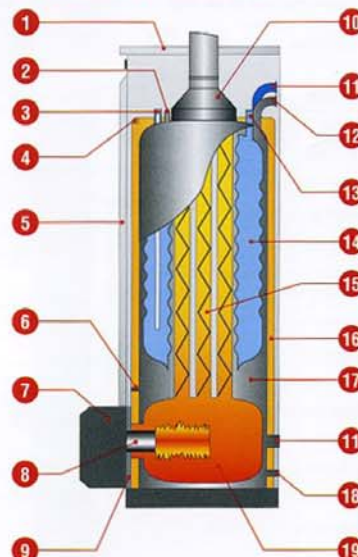
Gas



DESCRIPCIÓN DE PRODUCTO

- Caldera de doble servicio a gas. Tecnología Tank in Tank.
- Cuerpo totalmente aislado con poliuretano rígido.
- La Delta Performance se suministra con o sin quemador BG-2000-S de gas natural y propano. Además la Delta Performance funciona con todo tipo de quemador homologado disponible en el mercado.
- Caldera Delta Performance 35MV con quemador modulante de 10 a 35 kW.
- Caldera Delta Performance 50MV con quemador modulante de 15 a 50 kW.
- Producciones de ACS para la Delta Performance de 268 a 362 litros en 10' (Δt 30°C) y para la Delta Performance MV de 291 a 328 litros en 10' (Δt 30°C).
- Conexión chimenea clásica (Delta Performance). Chimenea estanca Ø80-80 o concéntrica Ø80-125 (35MV). Chimenea estanca Ø100-100 o concéntrica Ø100-150 (50MV).
- Panel de mandos con interruptor general, termostato de regulación, termómetro, conmutador verano/invierno y panel troquelado para la ubicación del sistema de regulación ACV (opcional).
- Mantenimiento sencillo: acceso fácil a los tubos de humos sin desmontar la conexión aire/humos.

ESQUEMA DE PRINCIPIO



Modelo ilustrado : Delta Performance Gas

- Cubierta superior metálica.
- Termostato límite 95°C y termómetro.
- Entrada agua fría.
- Termostato de seguridad 103°C de rearme manual.
- Frontal metálico.
- Bulbo del termostato de regulación.
- Tapa metálica quemador.
- Quemador.
- Puerta cámara combustión.
- Reducción chimenea.
- Retorno circuito primario.
- Salida circuito primario.
- Salida agua caliente sanitaria (ACS).
- Acumulador interno en acero inoxidable.
- Tubos de humos y turbuladores.
- Aislamiento de poliuretano rígido.
- Tanque externo de acero (fluido primario).
- Grifo de vaciado circuito primario.
- Cámara de combustión.



Regulaciones












Las nuevas regulaciones ACV responden a las modernas necesidades de gestión de calefacción.

CÓDIGO	MODELO (CHIMENEA CLÁSICA)	Doméstico
04600001	Delta Performance 25	(Sin quemador)
04600101	Delta Performance 35	(Sin quemador)
04600201	Delta Performance 45	(Sin quemador)
04604301	Delta Performance 55	(Sin quemador)
04600001 + 237D0063	Delta Performance 25	(Gas natural)
04600101 + 237D0066	Delta Performance 35	(Gas natural)
04600201 + 237D0065	Delta Performance 45	(Gas natural)
04604301 + 237D0013	Delta Performance 55	(Gas natural)

En opción gas propano, ver quemadores

CÓDIGO	MODELO (CHIMENEA ESTANCA) + QUEMADOR	
02607301	Delta Performance 35 MV	(Gas natural y propano)
02608301	Delta Performance 50 MV	(Gas natural y propano)

ACCESORIOS

55211400	Doméstico	Grupo de seguridad 7 bar Ø 3/4"	
557A1500		Válvula de seguridad 7 bar Ø 3/4"	
55301300		Vaso de expansión 5 L. (acum. < 150 l.)	
9135		Zócalo antihumedad (600 x 650 x 80)	
7D6062		Recuperador de condensados 80/125	
53706068	Terciario	Recuperador de condensados 100/150	
10800137		Kit ACS de seguridad, mezclador y llenado caldera Alfa / Delta	
10501600		Kit básico (radiadores)	
10800133		Kit radiadores (incluye kit común)	
10800134		Kit suelo radiante (necesita kit común)	
10800136		Kit común	

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS Y DIMENSIONES

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Presión máxima de servicio
Primario: 3 bar
Secundario: 10 bar

Temperatura máxima: 90 °C
Alimentación eléctrica: 230 V 50 Hz

MODELO		25	35	45	55	35 MV	50 MV
Código caldera		04600001	04600101	04600201	04604301	02607301	02608301
Quemador BG 2000 S/..., M/..		237D0063	237D0066	237D0065	237D0013	Incluido	Incluido
Gasto calorífico	kW	25,0	34,9	45,0	55,0	10 / 34,9	15,0 / 50,0
Potencia útil nominal	kW	22,45	31,35	40,5	49,0	9,5 / 32,0	14,5 / 46,7
Rendimiento de combustión	%	91,7	91,5	92,4	92	96,4 / 92,9	97,0 / 93,0
Pérdida de mantenimiento a 60°C en % del valor nominal	%	1,36	1,0	0,8	0,75	0,5	0,5
Caudal másico de los productos de combustión	g/sec.	11,4	16,1	20,9	25,3	4,6 / 16,1	6,9 / 23,0
Temperatura gases quemados	°C	170	173	153	165	80 / 140	60 / 140
Conexión evacuación de gases		B23	B23	B23	B23	C13 - C33	C13 - C33
Capacidad total	L	157	178	132	162	127	162
Capacidad primario	L	83	104	70	82	62	82
Conexiones secundario [Macho]	Ø	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"
Conexiones calefacción [Hembra]	Ø	1"	1"	1"	1"	1"	1"
Superficie de intercambio	m²	1,59	1,59	1,99	2,46	1,99	2,46
Dimensiones	A1/A2	mm	1497	1697	1497	1697	1585/1610
	B1/B2	mm	585 / 818	565 / 818	565 / 818	565 / 848	645 / 800
	C	mm	130	130	150	150	80-(80/125) 100-(100/150)
Conexión sanitaria	D	mm	360	360	390	390	390
Conexión gas [Hembra]	Ø	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"
Peso en vacío Min. - Max. s/ variante	kg	145 / 159	156 / 170	168 / 182	200 / 214	182	208
Caudal de gas tipo G20 - 20 mbar	m³/h	2,65	3,70	4,76	5,80	1,06 / 3,70	1,60 / 5,30
Caudal de gas tipo G25 - 20/25 mbar	m³/h	3,07	4,30	5,52	7,98	1,24 / 4,31	1,85 / 6,15
Caudal de gas tipo G31 - 30/37/50 mbar	m³/h	1,02	1,43	1,84	2,25	0,41 / 1,43	0,61 / 2,05
Categoría familias de gas		I2E(S)B - I2Er - I2H - I2HS - I2ELL - I2E - I2L - I3P					
		I2E(S)B - I2Er - I2H - I2HS - I2ELL - I2E - I2L - I3P - I3+ - I3B					

Cada quemador ACV BG 2000-S está regulado en fábrica y se suministra con un kit de conversión para gas propano. A partir del modelo de quemador S-35, se incorpora de serie un recubrimiento de malla (NIT) en la rampa del quemador que reduce al mínimo las emisiones de NOx.

PRESTACIONES EN AGUA CALIENTE SANITARIA

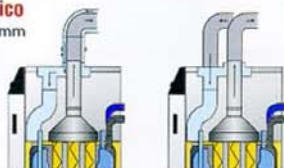
PRESTACIONES		25	35	45	55	35 MV	50 MV
Caudal de punta a 40°C	L/10'	268	285	316	362	291	328
Caudal primera hora a 40°C	L/60'	806	1035	1284	1533	1044	1393
Tiempo de recuperación a 90°C	min	32	29	16	16	20	13

RÉGIMEN DE FUNCIONAMIENTO

Calefacción: 80°C
Agua fría: 10°C

DOS TIPOS DE CONEXIÓN A ELEGIR MV

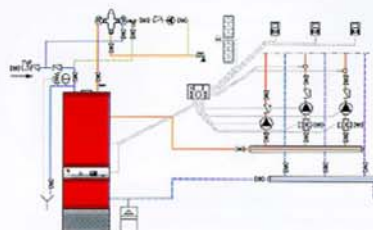
Concéntrico
Ø 80 / 125 mm



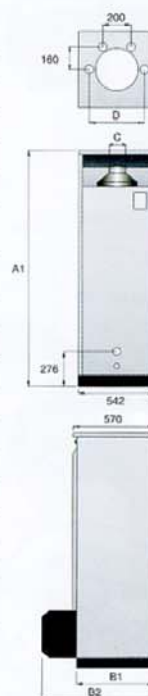
Bitubo
2 x Ø 80 mm

Nota Recomendamos instalar un recuperador de condensados (en versión concéntrica).

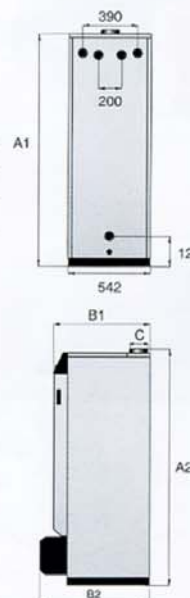
EJEMPLO DE INSTALACIÓN



DELTA PERFORMANCE



DELTA PERFORMANCE MV





NORGRUPOCOMERCIAL



SONNENKLIMA suninverse

Refrigeración por absorción 10 kW

Características técnicas

temperatura mínima para producción de frío 55° C
COP ≈ 0,78

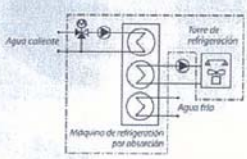


Incluido en el envío

- Máquina de refrigeración por absorción
- Sensor de temperatura para el agua caliente, fría y refrigerada
- Sistema de regulación con registro de los datos de la temperatura exterior, el caudal y la potencia
- Sistema de visualización, de supervisión y control remoto, (requiere una conexión a Internet EURO-ISDN)
- Bomba de agua caliente y válvula de tres vías para una perfecta regulación de la temperatura.

Nota

La bomba del agua fría y del agua refrigerada no están incluidas en el envío. Todo el trabajo que se haya de realizar por fuera de la línea de puntos del esquema (-----), no será llevado a cabo por 'SK SonnenKlima GmbH'.



SONNENKLIMA
suninverse

SK SonnenKlima GmbH

Zeche Westfalen 1
59229 Ahlen
Fon +49(0) 02382 9698 320
Fax +49(0) 02382 9698 321
www.sonnenklima.de
info@sonnenklima.de



Máquina de refrigeración por absorción 10 kW



torre de refrigeración
sin carcasa

Nota:

1. La capacidad de refrigeración depende de la temperatura del circuito de ida y de los caudales de agua fría, caliente y de refrigeración. La capacidad de refrigeración dada se refiere bajo un funcionamiento nominal de la máquina de refrigeración por absorción. Si usted lo desea, estaremos encantados de enviarle información adicional sobre la refrigeración a otras temperaturas.
2. Presión máxima del circuito de agua caliente y fría : 2,5 bar
3. La unidad de control de la máquina de absorción por refrigeración, contiene los datos de las potencias exteriores de los circuitos de agua caliente, fría y refrigerada. Para las tareas de supervisión y transferencia de datos remota, es necesario tener una conexión a internet Euro-ISDN.
4. La bomba de agua caliente y la válvula de tres vías están incluidas en el envío.

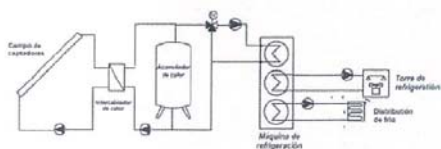
Características técnicas

Especificaciones		Unidades	suninverse	
			Funcionamiento con fan coils	Funcionamiento con suelo
Potencia frigorífica nominal/maximal		kW	9	10
		USRT	2,5	2,8
		BTU/h	30730	34120
Circuito de agua fría	Temperatura nominal/maximal (salida - entrada)	°C	7,5-10	15-18
	Caudal nominal/maximal	m³/h	2,9	2,9
	Pérdidas de carga internas	mbar	350	
	Unión		Rosca externa 1"	
Circuito de agua caliente	Temperatura nominal/maximal (entrada)	°C	90-80	75-65
	Caudal	m³/h	1,2	1,2
	Pérdidas de carga internas	mbar	200	
	Unión		Rosca externa ¾"	
Circuito de refrigeración	Temperatura nominal/maximal (entrada - salida)	°C	37-29	37-27
	Caudal	m³/h	2,6	2,6
	Pérdidas de carga internas	mbar	320	
	Unión		Rosca externa 1"	
Conexión eléctrica	Tensión	V	230 V ~ 1 ph 50Hz	
	Bomba para la solución	W	70	
	Bomba para el refrigerante	W	50	
Dimensiones	Alto H	mm	1960	
	Ancho L	mm	1130	
	Profundidad P	mm	795	
Peso	Funcionamiento	kg	550	
	Transporte	kg	500	

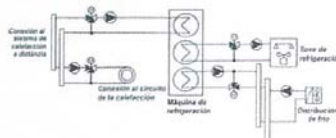
reservamos nuestro derecho a cambios

Instalación recomendada para el sistema

(A) Refrigeración solar



(B) Calefacción de distrito o sistema de calefacción a distancia



Distribuido por:








Pol. Ind. Camí Real - C/ Isaac Peral 13, Nave 9 - 08850 Gavà (Barcelona)
Tel: (+34) 93 635 94 40 - Fax: (+34) 93 665 45 10
absorcion@ibersolar.com
www.ibersolar.com

19 TERMOSTATO DIFERENCIAL ENERGÍA SOLAR Mod. RD MU 3

Funcionamiento

El termostato **RD-MU/3** se usa para controlar instalaciones solares. Tiene 3 sondas de temperatura (Colector Solar, Depósito Acumulador y Termostato de apoyo) y tres relés. El relé  se activa/desactiva dependiendo de la diferencia entre la sonda colector (S1) y la sonda acumuladora (S2). El relé  se activa cuando la temperatura de la sonda colector y/o acumulador (S1 y/o S2) exceden de un determinado valor. El relé  maneja la bomba del circuito colector-acumulador. El relé  maneja la válvula que conecta el circuito refrigerador. El relé  controla el Termostato de apoyo dependiendo de la sonda S3, aportando el calor necesario cuando el colector solar es insuficiente o para aprovechamiento de calor sobrante.

- La pantalla muestra la temperatura del Depósito Acumulador (S2)
- Para ver la temperatura del Colector Solar (S1) pulsar TCOL.
- Para entrar en PROGRAMACIÓN de parámetros pulsar PRG durante el tiempo del parámetro "tEP".
- Para forzar la activación del relé  (Bomba de circulación) mantener pulsada la tecla TCOL durante 10 segundos. Se encenderá el led correspondiente. Para desactivar pulsar cualquier tecla.
- Para forzar la activación del relé  (Circuito refrigerador) mantener pulsada la tecla OK durante 10 segundos. Se encenderá el led correspondiente. Para desactivar pulsar cualquier tecla.
- Para forzar la activación del relé  (Termostato de apoyo) mantener pulsada la tecla  o  durante 10 segundos. Se encenderá el led correspondiente. Para desactivar pulsar cualquier tecla.

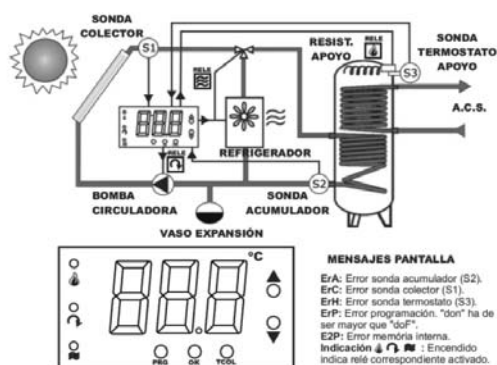
Características Técnicas

Precisión	+/- 1°
Resolución	0.1° (entre 19.9 y 99.9°)
Sondas temperatura	PTC 2000 Ohm IP67
Longitud máxima cable sonda	3m
Sección cable a conectar	1,5 mm²
Visualización temperatura	-40 a 140
Carga resistiva máxima	16 A a 250 VAC
Carga inductiva máxima	7 A a 250 VAC
Temperatura trabajo	-5°C a 45°C
Temperatura almacenaje	-10°C a 50°C
Grado de protección	IP30
Alimentación	230V + 10% -15% 50/60hz
Código 3 Relé	CE 19 789

Suministros y Servicios Andaluces
Sumiserán S.L.
C.I.F: B21211156
21291 Galaroza Huelva
Móv. 656441107
www.sumiseran.es



Mod. 3 Relés
3 Sonatas
RD - MU/3



Reservado el derecho a introducir modificaciones	Versión Software	3.1.6 - 09.12.2008 (Build 20)	Grupo de usuarios	Estado datos	1.1.2009
--	------------------	-------------------------------	-------------------	--------------	----------



ANEXO 4: ESTUDIO ECONÓMICO

Estudio económico.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	Año 21	Año 22	Año 23	Año 24	Año 25	Año 26	Año 27	Año 28
Norma general variable	333,27	324,0728	344,801361	367,701804	392,202174	418,244899	446,015927	475,612729	507,131194	540,80715	576,807289	615,1074	655,95631	699,505647	745,82021	795,04008	846,30423	904,61633	969,99714	1038,752	1097,6544	1160,9063	1247,59163	1330,4371	1407,7738	1512,9787	1633,4046	1705,7312
Norma en electricidad	336,05	339,22694	383,088388	400,504609	426,629315	464,555102	495,40136	528,294214	563,75938	600,789399	640,675204	683,226597	728,381582	776,999999	829,54953	885,56719	942,35913	1004,78625	1071,51886	1142,6657	1218,3367	1294,4663	1385,7286	1477,4665	1575,86796	1680,50593	1792,08116	1911,08402
Norma en otros	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gastos anuales de mantenimiento	- 377,00	- 386,88	- 397,01	- 407,42	- 419,09	- 430,04	- 440,28	- 451,82	- 463,66	- 475,81	- 488,27	- 501,06	- 514,19	- 527,66	- 541,49	- 555,68	- 570,23	- 585,17	- 600,51	- 616,24	- 632,38	- 648,95	- 665,96	- 683,40	- 701,31	- 719,68	- 738,54	- 757,89
Flujo de Caja	263,12	256,75	330,94	358,87	400,74	453,16	501,13	551,11	606,93	665,87	729,21	797,26	870,34	948,80	1,033,01	1,123,37	1,220,30	1,324,26	1,435,71	1,555,18	1,682,22	1,820,41	1,967,37	2,124,77	2,293,33	2,473,80	2,666,99	2,873,77
Flujo de Caja Acumulado	441,24	736,99	1,071,92	1,466,79	1,896,54	2,360,29	2,861,42	3,393,53	3,960,46	4,563,33	5,195,54	5,857,80	6,550,14	7,282,54	8,054,96	8,867,33	9,719,63	10,611,89	11,545,12	12,519,35	13,534,58	14,590,81	15,688,04	16,826,27	18,005,50	19,225,73	20,486,96	21,789,19
Subvención (B.245)																												
Inversión Inicial (-37.748,47)																												
Expendimiento Inicial																												
Para calcular la TIR																												
Flujo de Caja Acumulado	441,24	736,99	1,071,92	1,466,79	1,896,54	2,360,29	2,861,42	3,393,53	3,960,46	4,563,33	5,195,54	5,857,80	6,550,14	7,282,54	8,054,96	8,867,33	9,719,63	10,611,89	11,545,12	12,519,35	13,534,58	14,590,81	15,688,04	16,826,27	18,005,50	19,225,73	20,486,96	21,789,19
Expendimiento Inicial	-20.933,47	-20.933,47	-20.933,47	-20.933,47	-20.933,47	-20.933,47	-20.933,47	-20.933,47	-20.933,47	-20.933,47	-20.933,47	-20.933,47	-20.933,47	-20.933,47	-20.933,47	-20.933,47	-20.933,47	-20.933,47	-20.933,47	-20.933,47	-20.933,47	-20.933,47	-20.933,47	-20.933,47	-20.933,47	-20.933,47	-20.933,47	-20.933,47
Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)	638,6%	363,5%	249,9%	178,1%	115,4%	106,4%	85,4%	69,6%	57,9%	47,7%	39,8%	33,4%	28,1%	23,6%	19,8%	16,5%	13,7%	11,2%	9,1%	7,2%	5,9%	4,1%	2,8%	1,6%	0,4%	-3%	-12%	-1,9%
Valor Actual Neto (VAN)	-27.120,01€	-26.884,56€	-26.554,59€	-26.207,74€	-25.811,65€	-25.377,61€	-24.897,59€	-24.353,55€	-23.755,56€	-23.122,55€	-22.477,58€	-21.822,66€	-21.157,88€	-20.483,24€	-19.808,74€	-19.134,38€	-18.460,16€	-17.786,08€	-17.112,14€	-16.438,35€	-15.764,70€	-15.091,19€	-14.417,82€	-13.744,59€	-13.071,40€	-12.398,25€	-11.725,14€	-11.052,06€

Tasa de inflación anual (tomamos como referencia la tasa de inflación media, a mes de mayo, de los últimos 5 años)

Incremento del precio del combustible (tomamos como referencia la media de los últimos 5 años a mes de diciembre)

Interés financiero (tomamos como referencia la media del euríbor, a mes de junio, en los últimos 5 años)

La TIR se calcula guardando a cero el VAN

VAN: actualizamos los FC de cada año hasta el momento inicial, restamos la inversión (sumamos la subvención (ambas cantidades se descuentan y se descuentan, respectivamente, en el momento inicial)

Cuando el VAN nos dé un valor positivo, será que la inversión ya se ha recuperado

$$VAN = -A + \frac{Q_1}{(1+i)} + \frac{Q_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{Q_n}{(1+i)^n} + \frac{Q_{n+1}}{(1+i)^{n+1}}$$

El proyecto sería rentable a partir del año 27, momento en el que el VAN pasa a ser positivo, lo cual significa que finalmente se ha recuperado la inversión

Estudio económico con beneficio por ahorro de emisiones.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	Año 21	Año 22	Año 23	Año 24	Año 25	Año 26	Año 27	Año 28
Año en gas natural variable	303,27	323,407,28	344,813,63	367,704,937	392,202,742	418,244,906	446,012,866	475,521,775	507,213,944	540,921,505	576,307,933	613,077,999	652,963,313	695,365,445	745,928,215	796,494,008	843,942,723	894,332,333	944,690,738	1002,753,599	1071,645,44	1149,908,63	1247,916,29	1350,430,713	1468,772,979	1513,978,65	1633,446,62	1703,5712
Año en electricidad	336,85	359,21,684	380,688,802	400,346,909	425,639,151	454,555,016	485,401,563	519,593,229	553,375,902	590,702,194	630,702,194	673,216,074	718,343,383	765,993,993	815,549,634	868,555,065	924,339,091	984,798,551	1071,518,655	1142,665,774	1218,336,569	1299,448,653	1386,739,778	1477,765,648	1575,867,959	1680,585,559	1792,091,163	1911,068,02
Año en emisiones	38,67	39,683,154	40,727,263,63	41,780,791,37	42,846,839,1	43,924,563,63	45,161,779,11	46,349,946,2	47,530,736,4	48,709,938	50,094,514	51,595,605	53,210,664	54,940,745	55,540,016,2	56,979,757	58,409,631,2	60,030,807,6	61,959,647,1	62,289,019,1	64,855,50,7	66,559,095	68,390,716	70,087,751	71,933,597,3	73,800,641,5	75,754,51,89	77,788,007
Gastos anuales de mantenimiento	377,00	386,88	397,01	407,42	418,09	429,04	440,28	451,82	463,66	475,81	488,27	501,06	514,19	527,66	541,49	555,68	570,23	585,17	600,51	616,24	632,38	649,95	668,95	689,30	710,11	731,48	754,51,89	77,788,007
Flujo de Caja	30,79	335,43	371,66	401,66	426,63	447,76	464,29	476,29	484,65	490,86	494,65	496,65	496,65	494,65	490,86	484,65	476,29	464,29	451,82	438,27	425,81	413,36	400,91	388,46	376,01	363,56	351,11	338,66
Flujo de Caja Acumulado	441,24	776,67	1.148,33	1.530,99	2.011,62	2.500,38	3.055,67	3.654,13	4.300,62	5.023,29	5.802,59	6.651,24	7.543,32	8.577,25	9.665,80	10.846,17	12.124,97	13.500,25	15.066,35	16.824,94	18.770,03	20.900,00	22.285,67	24.480,05	26.855,81	29.402,43	32.146,18	35.097,69
Salvación (8,26%)																												
Inversión Inicial (37.748,47)																												
Desembolso Inicial	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47
Para calcular la TIR																												
Flujo de Caja Acumulado	441,24	776,22	1.153,14	1.530,99	2.008,65	2.535,74	3.093,75	3.706,50	4.378,11	5.110,95	5.915,71	6.791,40	7.745,38	8.783,37	9.911,30	11.163,31	12.464,78	13.900,38	15.463,10	17.149,46	18.975,57	20.940,15	23.048,00	25.363,01	27.977,25	30.930,97	33.376,70	36.469,86
Desembolso Inicial	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47	-29.303,47
Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)	63,86%	36,31%	24,69%	17,61%	13,54%	10,64%	8,54%	6,86%	5,74%	4,77%	3,94%	3,24%	2,61%	2,06%	1,58%	1,15%	0,77%	0,42%	0,11%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Valor Actual Neto (VAN)	-27.770,804	-26.546,184	-25.465,914	-24.623,214	-23.909,044	-23.400,244	-23.083,214	-22.840,244	-22.660,244	-22.530,244	-22.440,244	-22.380,244	-22.340,244	-22.310,244	-22.280,244	-22.250,244	-22.220,244	-22.190,244	-22.160,244	-22.130,244	-22.100,244	-22.070,244	-22.040,244	-22.010,244	-21.980,244	-21.950,244	-21.920,244	-21.890,244

Tasa de inflación anual (tomamos como referencia la tasa de inflación media, a mes de mayo, de los últimos 5 años)

Incremento del precio del combustible (tomamos como referencia la media de los últimos 5 años a mes de diciembre)

Interés financiero (tomamos como referencia la media del autor, a mes de junio, en los últimos 5 años)

La TIR se calcula guardando a cero el VAN

VAN actualizamos los TC de cada año hasta el momento inicial, restamos la inversión y sumamos la salvación (ambas cantidades se descuentan en el momento inicial)

Cuando el VAN nos de un valor positivo, sea que la inversión se acabe recuperado

$$VAN = -A + \frac{Q_1}{(1+k_1)} + \frac{Q_2}{(1+k_2)(1+k_1)} + \dots + \frac{Q_n}{(1+k_n)(1+k_{n-1}) \dots (1+k_1)}$$

El proyecto será rentable a partir del año 28, momento en el que el VAN pasa a ser positivo, lo cual significa que finalmente se ha recuperado la inversión



MEMORIA

Ingeniería Industrial Superior
Especialidad Tecnologías Energéticas
Francisco de Borja González Rico
